

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/EP05/004356

International filing date: 22 April 2005 (22.04.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE  
Number: 10 2004 020 245.1  
Filing date: 22 April 2004 (22.04.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 25 May 2005 (25.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

EPO5/4356

EPO - Munich  
34

26. April 2005

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 10 2004 020 245.1

**Anmeldetag:** 22. April 2004

**Anmelder/Inhaber:** SCHOTT AG, 55122 Mainz/DE

**Erstanmelder:** Schott Spezialglas AG,  
55122 Mainz/DE

**Bezeichnung:** Organisches, elektro-optisches Element mit  
erhöhter Auskoppelleffizienz

**IPC:** H 01 L 51/52

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 10. März 2005  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

  
Schäfer

Organisches, elektro-optisches Element mit erhöhter  
Auskoppeleffizienz

Die Erfindung betrifft allgemein elektro-optische  
5 Elemente, sowie Verfahren zu deren Herstellung.  
Insbesondere betrifft die Erfindung ein organisches  
elektro-optisches Element mit erhöhter Auskoppeleffizienz,  
sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

10 Organische lichtemittierende Dioden (OLEDs) können bereits  
mit sehr guten internen Quanteneffizienzen (Anzahl Photonen  
pro injiziertes Elektron) hergestellt werden. So sind  
bereits OLED-Schichtstrukturen mit internen  
Quanteneffizienzen von 85% bekannt. Jedoch wird die  
15 Effizienz von OLEDs deutlich durch Auskoppelverluste  
herabgesetzt. An den vorhandenen Grenzflächen von  
aneinandergrenzenden Medien mit unterschiedlichen  
Brechungsindizes treten Reflexionsverluste auf.  
Insbesondere ergibt sich ein besonders hoher  
20 Brechungsindexsprung bei der Auskopplung von Licht an der  
Oberfläche der OLED und beim Eintritt in das  
Trägersubstrat. Dieser Brechungsindexsprung führt zur  
Totalreflexion von Licht, welches vom Inneren der OLED her  
kommend unter einem Winkel auf die Grenzfläche trifft, der  
25 größer als der Grenzwinkel ist. Dies wiederum reduziert den  
Raumwinkel, unter welchem die Strahlung ausgekoppelt werden  
kann. So gilt für den Bruchteil  $\eta$  der auskoppelbaren  
Strahlung die Näherung:

$$\eta \approx 0.5 \cdot n^2,$$

wobei  $n$  den größten Brechungsindex der einzelnen Schichten der OLED bezeichnet.

5

10

15

Im allgemeinen umfaßt eine OLED eine organische, elektrolumineszente Schicht, deren Licht durch eine transparente, leitfähige Elektrodenschicht, z.B. aus Indium-Zinn-Oxid (ITO), und einen transparenten Träger, wie insbesondere einen Glasträger, eine Glaskeramik oder Polymerfolie mit vorzugsweiser Barrierebeschichtung ausgekoppelt wird. Typische Werte für die Brechungsindizes sind dabei  $n=1,6 - 1,7$  für die organische, elektrolumineszente Schicht,  $n=1,6 - 2,0$  für die ITO-Schicht,  $n \approx 1,5$  für das Trägermaterial und  $n \approx 1,0$  für die umgebende Luft. Hohe Reflexionsverluste treten somit an beiden Grenzflächen des Trägers auf.

20

Zur Lösung dieses Problems wurden verschiedene Wege bestritten. In der US 2001/0055673 A1 wird beispielsweise vorgeschlagen, auf ein flaches Substrat eine beidseitige, mehrlagige Interferenzschicht aufzubringen.

25

30

In der US 2002/0094422 A1 wird ferner eine OLED offenbart, bei welcher zwischen der transparenten ITO-Elektrodenschicht und dem Substrat eine Zwischenschicht angeordnet ist, die einen variierenden Brechungsindex aufweist, wobei der Brechungsindex an den Grenzflächen der Zwischenschicht jeweils den Brechungsindex der angrenzenden Materialien hat.

Weiterhin besteht die Möglichkeit, periodische Strukturen herzustellen. Hier wurde unter anderem versucht, die

Auskoppeleffizienz mittels "Distributed Feedback"-Gittern oder Strukturen mit zweidimensionaler photonischer Bandlücke zu verwenden. Eine derartige Anordnung wird beispielsweise in "A high-extraction-efficiency  
5 nanopatterned organic light emitting diode", Appl. Phys. Lett. Vol. 82 Num. 21, 3779 ff. beschrieben. Ebenso wurde eine quasiperiodische Anordnung von SiO<sub>2</sub>-Kugeln auf dem  
10 Glasträger getestet. Periodische Strukturen weisen jedoch deutliche dispersive Eigenschaften auf, so daß sie die spektrale Zusammensetzung des ausgekoppelten Lichts, insbesondere auch richtungsabhängig ändern. Zudem erfordert die Herstellung solcher Schichten zusätzliche Arbeitsschritte mit erheblichem Aufwand.

15 Auch mikrooptische Elemente, wie Linsen oder auf die OLED-Strukturen aufgesetzte Kegelstümpfe sind bekannt. Hierbei ergibt sich aber das Problem, daß diese Strukturen nur dann wirksam sind, wenn die aktive Fläche des OLED kleiner als  
20 der dieser Fläche zugeordnete Oberflächenteil ist. Somit wird zwar die Auskoppeleffizienz erheblich erhöht, jedoch wird gleichzeitig die lichtemittierende Fläche der OLED erniedrigt, so daß auf diese Weise keine wesentliche Steigerung der Gesamthelligkeit erreicht wird. Diese  
25 Lösungen des Problems sind daher allenfalls geeignet, um eine höhere Leuchtdichte bei Pixeldisplays zu erreichen, bei denen ohnehin nicht leuchtende Zwischenräume zwischen den einzelnen OLED-Strukturen vorhanden sind.

30 Als weitere Möglichkeit wurde der Einsatz niedrigbrechender Zwischenschichten erprobt. Insbesondere wurden dazu Aerogel-Zwischenschichten getestet. Diese Lösung schafft eine deutliche Steigerung der Auskoppeleffizienz. Hier jedoch besteht ein Nachteil in der Empfindlichkeit der

OLED-Struktur gegenüber chemischen Umgebungseinflüssen. OLEDs degradieren im allgemeinen unter Einwirkung von Wasser oder Sauerstoff sehr schnell. Die porösen OLED-Schichten besitzen jedoch nur wenig Barrierewirkung gegenüber solchen reaktiven Substanzen. Aerogele können sogar wie ein Schwamm wirken, welcher bereits bei der Herstellung der OLED degradierende Substanzen aufnimmt und speichert und diese anschließend an die Schichtstruktur der OLED abgibt. Obwohl eine derart hergestellte OLED also besonders hohe Auskoppelleffizienzen zeigt, ist sie für OLEDs mit langer Lebensdauer nur schlecht geeignet.

Diese bisher bekannten Anordnungen zur Erhöhung der Auskoppelleffizienz sind entweder vergleichsweise aufwendig zu realisieren oder haben andere Nachteile, wie etwa eine Beeinträchtigung der Lebensdauer.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, ein organisches elektro-optisches Element mit erhöhter Auskoppelleffizienz zu schaffen, welches in einfacher Weise herstellbar ist und dessen Lebensdauer nicht durch die Maßnahmen zur Erhöhung der Auskoppelleffizienz beeinträchtigt wird. Diese Aufgabe wird bereits in höchst überraschend einfacher Weise durch ein organisches, elektro-optisches Element, sowie einem Verfahren zur Herstellung eines organischen, elektro-optischen Elements gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der jeweiligen abhängigen Ansprüche.

Dementsprechend umfaßt ein erfindungsgemäßes organisches, elektro-optisches Element ein Substrat und zumindest eine elektro-optische Struktur, welche eine aktive Schicht mit zumindest einem organischen, elektro-optischen Material

umfaßt, wobei das Substrat zumindest eine  
Entspiegelungsschicht mit wenigstens einer Lage aufweist,  
und wobei die Lage der Entspiegelungsschicht eine Dicke und  
einen Brechungsindex aufweist, für welche die integrale  
5 Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht  
für unter allen Winkeln von der aktiven Schicht ausgehende  
Lichtstrahlen und für eine Wellenlänge im Spektralbereich  
des emittierten Lichts minimal ist, oder für welche die  
integrale Reflektivität um höchstens 25 Prozent, bevorzugt  
10 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent höher als das  
Minimum der integralen Reflektivität ist.

Die integrale Reflektivität ist dabei die über alle  
Emissionswinkel von Lichtstrahlen, die von der aktiven  
15 Schicht ausgehen, integrierte Reflektivität an den  
Grenzflächen der Entspiegelungsschicht.

Unter dem Minimum der integralen Reflektivität wird  
außerdem der minimale Wert der integralen Reflektivität  
20 verstanden, der bei einer Variation der Werte für  
Brechungsindex und Schichtdicke der Entspiegelungsschicht,  
beispielsweise im Falle einer einlagigen Schicht, für die  
Entspiegelungsschicht unter sonst unveränderten Bedingungen  
erreichbar ist. Hierbei kann der Schichtbrechwert gemäß  
25 einer Ausführungsform der Erfindung dispersionsfrei und  
uniform über die gesamte Schichtdicke angesetzt werden.

Ein entspiegeltes Glassubstrat mit einer  
Entspiegelungsschicht mit wenigstens einer Lage, welche  
30 eine Dicke und einen Brechungsindex aufweist, für welche  
die integrale Reflektivität an den Grenzflächen der  
Entspiegelungsschicht für unter allen Winkeln in der  
aktiven Schicht ausgehende Lichtstrahlen minimal ist oder

für welche die integrale Reflektivität um höchstens 25 Prozent höher als das Minimum ist, kann als Träger für ein organisches, elektro-optisches Element, wie insbesondere einer organischen, lichtemittierenden Diode, aber  
5 selbstverständlich auch als Träger oder Aufsatz für andere lichtemittierende Einrichtungen verwendet werden.

Durch eine Entspiegelungsschicht wird die Aus-, beziehungsweise Einkoppeleffizienz von Licht, welches durch  
10 das Substrat tritt, deutlich gegenüber einem nicht beschichteten Substrat erhöht, da durch die Entspiegelung Rückreflexionen zumindest teilweise unterdrückt werden. Erfindungsgemäß wird dabei die Schichtdicke und der Brechungsindex der Entspiegelungsschicht nicht auf  
15 senkrechte Inzidenz optimiert, was zu einer aus dem Stand der Technik bekannte Schichtdicke von einem Viertel der Lichtwellenlänge führt, sondern es werden vielmehr alle möglichen Richtungen emittierter Lichtstrahlen berücksichtigt.

20 Durch die erfindungsgemäße Anordnung ist es dabei möglich, bereits mit einer einfachen, einlagigen Entspiegelungsschicht die Transmission von der aktiven Schicht in das Substrat hinein und/oder beim Austritt des  
25 Lichts auf der Sichtseite des Elements um einen Faktor 2 zu erhöhen, was auch dementsprechend eine deutliche Steigerung der gesamten externen Quanteneffizienz mit sich bringt.

Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung wird dabei die  
30 Schichtdicke und der Brechungsindex der Entspiegelungsschicht so gewählt, daß das Integral der Reflektivität der Entspiegelungsschicht,



$$1) \quad I(n_1, n_2, n_3, d) = \int_0^{\pi/2} R(n_1, n_2, n_3, d, \theta) \sin(\theta) d\theta$$

o

5 minimal ist oder vom Minimalwert höchstens 25 Prozent  
 abweicht. Dabei bezeichnen  $n_2$  den Brechungsindex der  
 Entspiegelungsschicht,  $n_1$  und  $n_3$  die Brechungsindizes der  
 an die Entspiegelungsschicht angrenzenden Medien,  $\theta$  den  
 Winkel des emittierten Lichts zum Lot auf die dem Emitter  
 zugewandte Grenzfläche der Entspiegelungsschicht und  $d$  die  
 10 Schichtdicke der Entspiegelungsschicht.

Für die Reflektivität  $R(n_1, n_2, n_3, d, \theta)$  kann unter der  
 Annahme gleicher Emissionswahrscheinlichkeit für TE- und  
 TM-polarisiertes Licht, beziehungsweise für unpolarisiertes  
 15 Licht angesetzt werden:

$$2) \quad R(n_1, n_2, n_3, d, \theta) = \frac{R_{TE} + R_{TM}}{2}, \text{ wobei}$$

$R_{TE}$  und  $R_{TM}$  die Reflexionskoeffizienten für TE-,  
 beziehungsweise TM-polarisiertes Licht sind. Für die  
 Reflexionskoeffizienten gilt:

$$3) \quad R_{TE} = \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos(2\beta)}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos(2\beta)}, \text{ mit}$$

$$3a) \quad r_{12} = \frac{n_1 \cos(\alpha_1) - n_2 \cos(\alpha_2)}{n_1 \cos(\alpha_1) + n_2 \cos(\alpha_2)}, \text{ und}$$

$$3b) \quad r_{23} = \frac{n_2 \cos(\alpha_2) - n_3 \cos(\alpha_3)}{n_2 \cos(\alpha_2) + n_3 \cos(\alpha_3)}, \text{ beziehungsweise}$$

$$4) \quad R_{TM} = \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos(2\beta)}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos(2\beta)}, \text{ mit}$$

$$4a) \quad r_{12} = \frac{n_2 \cos(\alpha_1) - n_1 \cos(\alpha_2)}{n_2 \cos(\alpha_1) + n_1 \cos(\alpha_2)}, \text{ und}$$

$$4b) \quad r_{23} = \frac{n_3 \cos(\alpha_2) - n_2 \cos(\alpha_3)}{n_3 \cos(\alpha_2) + n_2 \cos(\alpha_3)}.$$

Für den Parameter  $\beta$  gilt weiterhin:

$$5) \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_2 d \cos(\alpha_2) .$$

- 5 Der Winkel  $\alpha_1$  bezeichnet dabei den zum Lot auf die Grenzfläche gemessenen Winkel eines auf die Entspiegelungsschicht auftreffenden Lichtstrahls und entspricht somit dem Winkel  $\theta$ . Der Winkel  $\alpha_2$  ist der zum Lot auf die Grenzfläche gemessene Winkel des an der
- 10 Grenzfläche zwischen dem Medium mit dem Brechungsindex  $n_1$  und der Entspiegelungsschicht gebrochenen, in der Entspiegelungsschicht laufenden Lichtstrahls. Der Winkel  $\alpha_3$  bezeichnet ferner den Winkel des abermals an der gegenüberliegenden Grenzfläche zum Medium mit dem
- 15 Brechungsindex  $n_3$  gebrochenen und in diesem Medium laufenden Lichtstrahls. Die Wellenlänge des Lichts im Vakuum ist mit  $\lambda_0$  bezeichnet. Bei absorptiven Medien sind die Brechungsindizes entsprechend durch die komplexen Indizes  $N = n + ik$  zu ersetzen.

20

Allgemein ist die integrale Reflektivität von der Schichtdicke und den Brechungsindizes der Entspiegelungsschicht  $n_2$  und denen der angrenzenden Medien,  $n_1$  und  $n_3$  abhängig, wobei die Brechungsindizes der

25 angrenzenden Medien durch Vorgabe des Materials festgelegt werden können. Beispielsweise kann Glas als Substrat mit einem Brechungsindex von  $n_3=1,45$  und Indium-Zinn-Oxid als

leitfähiges transparentes Elektrodenmaterial eingesetzt werden.

Es ist dem Fachmann offensichtlich, daß mit einer minimalen integralen Reflektivität an der Grenzfläche eine maximale Transmission einhergeht. Anstelle die minimale integrale Reflektivität gemäß der Beziehung 1) zu bestimmen, könnte auch ebenso unter Verwendung der Beziehungen 2) bis 5) die maximale integrale Transmission für unter allen Winkeln, etwa von einem gedachten Emitter in der aktiven Schicht ausgehende Lichtstrahlen bestimmt werden, wobei für die integrale Transmission  $T(n_1, n_2, n_3, d, \theta)$  gilt:

$$6) \quad T(n_1, n_2, n_3, d, \theta) = 1 - R(n_1, n_2, n_3, d, \theta).$$

Es ist auch von Vorteil, die Schichtdicke und den Brechungsindex der Entspiegelungsschicht so zu wählen, daß das Integral über die mit der spektralen Intensitätsverteilung der emittierten Strahlung gewichtete Reflektivität optimiert ist. Gemäß einer Weiterbildung dieser Ausführungsform der Erfindung ist daher vorgesehen, daß die Lage der Entspiegelungsschicht eine Dicke und einen Brechungsindex aufweist, für welche die über alle Winkel der von der aktiven Schicht ausgehenden Lichtstrahlen und die Wellenlängen des Spektralbereichs der emittierten Strahlung integrierte und mit der spektralen Intensitätsverteilung gewichtete Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht minimal ist, oder höchstens 25 Prozent, bevorzugt 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent höher als das Minimum ist.

Dieses Integral  $I(n_1, n_2, n_3, d)$  kann bestimmt werden durch:

7)

$$I(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^{\pi/2} S(\lambda) \cdot R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta) \sin(\theta) d\theta d\lambda$$

Für die Reflektivität  $R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta)$  gelten die gleichen Beziehungen, wie für Gleichung (1), so daß zur  
 5 Berechnung vorteilhaft die Gleichungen 2) - 5) eingesetzt werden können. Wird wie bei Gleichung 6 auch über einen Wellenlängenbereich integriert, so ist dann aber auch die Dispersion der Medien, beziehungsweise die Abhängigkeit der Brechungsindizes  $n_1, n_2, n_3$  von der Wellenlänge zu  
 10 berücksichtigen. Dabei bezeichnen  $S(\lambda)$  die spektrale Intensitätsverteilungsfunktion,  $R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta)$  die Reflektivität in Abhängigkeit von Emissionswinkel  $\theta$ , Schichtdicke  $d$  und der wellenlängenabhängigen Brechungsindizes  $n_2(\lambda)$  der Entspiegelungsschicht und der  
 15 angrenzenden Medien,  $n_1(\lambda), n_3(\lambda)$ , und  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  die Integrationsgrenzen des Spektralbereiches. Mit der spektralen Intensitätsverteilungsfunktion  $S(\lambda)$  werden die Werte der Reflektivität  $R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta)$  gewichtet. Die Grenzwerte  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  der Integration über die  
 20 Wellenlänge können beispielsweise die Grenzen des Wellenlängenbereichs der Emission bezeichnen. Allerdings können auch engere Grenzen, beziehungsweise ein Teilspektralbereich als Integrationsgrenzen gewählt werden. Dies ist unter anderem dann sinnvoll, wenn etwa die aktive  
 25 Schicht auch in Wellenlängen emittiert, für welche eines oder mehrere der eingesetzten Materialien opak sind.

In der Regel ist die extrinsische spektrale Emissionswahrscheinlichkeit leichter zu bestimmen, als die  
 30 intrinsische Emissionswahrscheinlichkeit der aktiven

Schicht. Diese kann aber im allgemeinen zur Bestimmung der Schichtdicke und des Brechungsindex in erster Näherung durch die extrinsische spektrale Verteilung ersetzt werden.

5 Mit einer derart ausgebildeten Entspiegelungsschicht kann eine optimale externe Quanteneffizienz für den von der aktiven Schicht emittierten Spektralbereich erreicht werden. Allerdings kann das Maximum der subjektiv  
10 wahrgenommenen Helligkeit von der maximal erreichbaren Auskoppelleffizienz aufgrund der spektral variierenden Augenempfindlichkeit abweichen. Dementsprechend ist gemäß einer weiteren Ausführungsform vorgesehen, daß die Lage der Entspiegelungsschicht eine Dicke und einen Brechungsindex  
15 aufweist, für welche die über alle Winkel der von der aktiven Schicht ausgehenden Lichtstrahlen und die Wellenlängen des Spektralbereichs der emittierten Strahlung integrierte und mit der spektralen Intensitätsverteilung und der spektralen Augenempfindlichkeit gewichtete  
20 Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht minimal ist, oder höchstens 25 Prozent, bevorzugt 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent höher als das Minimum ist.

25 Dieses Integral  $I(n_1, n_2, n_3, d)$  kann errechnet werden durch:

$$8) \quad I(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^{\pi/2} S(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta) \sin(\theta) d\theta d\lambda$$

Diese Gleichung entspricht bis auf die zusätzliche Multiplikation mit der spektralen Augenempfindlichkeit  $V(\lambda)$   
30 im Integranden der Gleichung 7).

Der Begriff eines organischen, elektro-optischen Elements umfaßt erfindungsgemäß sowohl ein organisches elektrolumineszentes, beziehungsweise lichtemittierendes Element, wie eine OLED, als auch ein photovoltaisches Element, welches ein organisches Material als photovoltaisch aktives Medium aufweist. Im folgenden wird der Einfachheit halber der Begriff OLED aufgrund des äquivalenten Aufbaus auch allgemein für organische lichtwandelnde Elemente, also sowohl für lichtemittierende, als auch für photovoltaische Elemente verwendet.

Als elektro-optische Struktur wird in diesem Zusammenhang die Schichtstruktur einer OLED, beziehungsweise eines entsprechend aufgebauten photovoltaischen Elements verstanden. Eine solche Struktur umfaßt dementsprechend im allgemeinen eine erste und zweite leitfähige Schicht, zwischen denen eine aktive Schicht angeordnet ist, die das zumindest eine elektro-optische Material aufweist. Als aktive Schichten können dabei unter anderem Schichten verwendet werden, die MEH-PPV oder auch Alq<sub>3</sub> (Tris-(8-hydroxyquinolino)-Aluminium) als organisches, elektro-optisches Material aufweisen. Die erste und zweite leitfähige Schicht, die als Elektroden für die elektro-optische Struktur dienen, weisen außerdem im allgemeinen unterschiedliche Austrittsarbeiten auf, so daß zwischen beiden Schichten eine Austrittsarbeitsdifferenz entsteht.

Der Mechanismus der Lichterzeugung im elektro-optischen Material einer OLED basiert nach allgemeinem Verständnis dabei auf der Rekombination von Elektronen und Löchern, beziehungsweise der Rekombination von Exzitonen unter Abgabe von Lichtquanten. Dazu werden bei Anlegen einer

Spannung zwischen erster und zweiter leitfähiger Schicht von der Schicht mit der höheren Austrittsarbeit Elektronen in das LUMO ("Lowest Unoccupied Molecular Orbital") und von der Schicht mit niedrigerer Austrittsarbeit her Löcher in das HOMO ("Highest Occupied Molecular Orbital") des elektro-optischen Material injiziert, welche dann dort rekombinieren.

Bei einem photovoltaischen Element läuft dieser Prozeß entsprechend umgekehrt ab, so daß zwischen der ersten und zweiten leitfähigen Schicht eine Spannung abgegriffen werden kann.

Bei bevorzugten Ausführungsformen der Erfindung umfaßt das Substrat Glas, insbesondere Kalk-Natron Glas und/oder Kunststoff.

Um hinsichtlich der integralen Reflektivität der Entspiegelungsschicht optimierte Schichtdicken und Brechungsindizes der Lagen einer mehrlagigen Schicht zu bestimmen, kann beispielsweise das Integral 1) durch rekursive Anwendung der oben angegebenen Beziehungen 2) bis 5) für die einzelnen Schichten der Entspiegelungsschicht berechnet werden. Insbesondere bietet sich hier eine numerische Berechnung an. Einschlägige Computerprogramme oder Fachbeiträge- bzw. Fachbücher zur Berechnung sind dem Fachmann bekannt.

Bei Weiterbildungen der Erfindung umfaßt die Entspiegelungsschicht mehrere Lagen, beziehungsweise ein Mehrfachschichtsystem mit einer Kombination von hoch-, mittel- oder niedrigbrechenden Einzelschichten. Hierzu können vorteilhaft die aus der Vergütung optischer Bauteile

bekannten Schichtmaterialien, wie Titanoxid, Tantaloxid, Nioboxid, Hafniumoxid, Aluminiumoxid oder Siliziumoxid, aber auch Nitride, wie z.B. Magnesiumnitrid eingesetzt werden. Aber auch weitere dem Fachmann bekannte Beschichtungsmaterialien bzw. Kombinationen und Mischungen dieser Materialien, insbesondere zur Erzeugung von mittelbrechenden Schichten, sind zur Realisierung der Erfindung vorzusehen.

10 Im Rahmen der Erfindung liegt es auch, ein Verfahren zur Herstellung eines organischen, elektro-optischen Elements mit verbesserter Aus- und/oder Einkoppeleffizienz für Licht, insbesondere eines organischen, elektro-optischen Elements gemäß einer der oben erläuterten Ausführungsformen

15 anzugeben. Das Verfahren umfaßt dazu die Schritte:

- Beschichten zumindest einer Seite eines Substrats mit einer Entspiegelungsschicht, und
- Aufbringen zumindest einer elektro-optischen Struktur, welche zumindest ein organisches, elektro-optisches

20 Material umfaßt, wobei das Substrat mit einer Entspiegelungsschicht beschichtet wird, die wenigstens eine Lage mit einer Dicke und einem Brechungsindex aufweist, für welche die integrale Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht für unter allen Winkeln von in der

25 aktiven Schicht ausgehende Lichtstrahlen und für eine Wellenlänge im Spektralbereich des emittierten Lichts des elektro-optisches Material minimal ist oder für welche die integrale Reflektivität um höchstens 25 Prozent höher als das Minimum ist.

30

Gemäß einer Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird dabei die Schichtdicke und der Brechungsindex der Entspiegelungsschicht gemäß einer



Minimierung der oben angegebenen Beziehungen 1), 7) oder 8) in Verbindung mit den Gleichungen 2) bis 5) gewählt.

5 Zur Beschichtung mit der Entspiegelungsschicht eignen sich alle bekannten Schichtabscheidungsverfahren, wie Vakuumbeschichtungsverfahren, insbesondere physikalische Dampfphasenabscheidung ("physical vapor deposition" (PVD) oder Sputtern, chemische Abscheidungsverfahren aus der Gasphase (CVD), die thermisch oder plasmaunterstützt  
10 (PECVD) oder gepulst (z.B. PICVD) ausgeführt werden können, oder Beschichtungen aus der Flüssigphase, wie Sol-Gel-Beschichtung, Tauch-, Sprüh- oder Schleuderbeschichtung.

15 Besonders kostengünstig und vorteilhaft für die großflächige Herstellung von elektro-optischen Elementen ist eine Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens, bei welcher der Schritt des Beschichtens zumindest einer Seite eines Substrats mit einer Entspiegelungsschicht den Schritt des Tauchbeschichtens des Substrats umfaßt. Durch  
20 Tauchbeschichten lassen sich effizient und kostengünstig kratzfeste und witterungsbeständige Schichten mit vielseitigen optischen Eigenschaften erzeugen.

Vorteilhaft ist besonders, wenn die Entspiegelungsschicht  
25 des Substrats Titanoxid aufweist. Titanoxid weist einen hohen Brechungsindex auf und läßt sich als Schichtbestandteil in einfacher Weise mittels Tauchbeschichtung auf das Substrat aufbringen. Durch Wahl des Titanoxid-Gehalts kann auch der gewünschte  
30 Brechungsindex der Entspiegelungsschicht, oder einer der Lagen der Entspiegelungsschicht bei der Herstellung eingestellt werden.

Bevorzugt umfaßt der Schritt des Aufbringens zumindest einer elektro-optischen Struktur außerdem die Schritte:

- Aufbringen einer ersten leitfähigen Schicht,
- 5 -Aufbringen einer aktiven Schicht, welche das zumindest eine organische, elektro-optische Material umfaßt, und
- Aufbringen einer zweiten leitfähigen Schicht.

10 Um besonders effektive mehrfach enspiegelte Oberflächen oder Grenzflächen zu erhalten, ist es von Vorteil, wenn die zumindest eine Entspiegelungsschicht mehrere Lagen aufweist, beziehungsweise wenn der Schritt des Beschichtens zumindest einer Seite eines Substrats mit einer

15 Entspiegelungsschicht den Schritt des Beschichtens mit einer Entspiegelungsschicht umfaßt, welche mehrere Lagen aufweist. Hierbei ist es insbesondere günstig, wenn die Lagen jeweils unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen.

20 Besonders günstig sind Entspiegelungsschichten, welche drei Lagen aufweisen. Die Rückreflexion in das Substrat kann dabei sehr wirksam unterdrückt werden, wenn die Lagen vom Substrat ausgehend in einer Schichtabfolge Lage mit mittlerem Brechungsindex / Lage mit hohem Brechungsindex / Lage mit niedrigem Brechungsindex angeordnet sind. Der

25 Schritt des Beschichtens mit einer Entspiegelungsschicht welche mehrere Lagen, insbesondere drei Lagen aufweist, kann dementsprechend vorteilhaft die Schritte umfassen:

- Aufbringen einer Lage mit mittlerem Brechungsindex,
- Aufbringen einer Lage mit hohem Brechungsindex, und
- 30 -Aufbringen einer Lage mit niedrigem Brechungsindex.

Anstelle einer dreilagigen Entspiegelungsschicht, die einer dreifach-Entspiegelung entspricht, können auch Schichten

der elektro-optischen Struktur selbst in die  
Entspiegelungsschicht mit einbezogen werden. Beispielsweise  
kann eine ITO-Schicht der elektro-optischen Struktur an  
eine zweilagige Entspiegelungsschicht angrenzen um so  
5 zusammen mit diesen zwei Lagen mit entsprechen abgestimmten  
Brechungsindizes wiederum eine dreilagige  
Entspiegelungsschicht zu bilden. Dementsprechend weist bei  
einer solchen Ausführungsform die Entspiegelungsschicht  
zumindest zwei Lagen auf, wobei eine der leitfähigen  
10 Schichten der elektro-optischen Struktur an die  
Entspiegelungsschicht angrenzt.

Vorteilhaft können die zumindest eine Entspiegelungsschicht  
und die zumindest eine elektro-optische Struktur auf  
15 derselben Seite des Substrats aufgebracht werden. Dadurch  
wird ein elektro-optisches Element geschaffen, bei welcher  
Reflexionen beim Passieren des Lichts an der Grenzfläche  
zwischen Substrat und elektro-optischer Struktur vermindert  
werden. Weiterhin kann auf die so aufgebrachte  
20 Entspiegelungsschicht vor dem Auftragen der Schichten  
elektro-optischen Struktur zumindest eine Anpassungsschicht  
aufgebracht werden, um eine optische Anpassung an die  
Brechungsindizes der elektro-optischen Struktur zu  
erreichen.

25 Die zumindest eine Entspiegelungsschicht und die zumindest  
eine elektro-optische Struktur können jedoch auch auf  
gegenüberliegenden Seiten des Substrats aufgebracht werden.  
Bei einem so hergestellten elektro-optischen Element, bei  
30 sich die Entspiegelungsschicht auf der Seite des Substrats  
befindet, welcher der Seite gegenüberliegt, auf welcher die  
zumindest eine elektro-optische Struktur aufgebracht ist,

wird eine Reflexionsunterdrückung auf der Betrachtungs- oder Lichtaustrittsseite geschaffen.

Ist eine erfindungsgemäße Entspiegelungsschicht auf der Seite angeordnet, auf welcher sich die elektro-optische Struktur befindet, kann es außerdem von Vorteil sein, wenn zwischen Entspiegelungsschicht und elektro-optischer Struktur zumindest eine Anpassungsschicht angeordnet ist. Die zumindest eine Anpassungsschicht, vorteilhaft auch ein Anpassungsschicht-Stapel, beziehungsweise eine mehrlagige Anpassungsschicht kann vorteilhaft dazu dienen, die optischen Eigenschaften der Entspiegelungsschicht und der elektro-optischen Struktur besser aufeinander abzustimmen.

Insbesondere können Entspiegelungsschichten auch beidseitig auf das Substrat aufgebracht werden. Weisen beide Seiten des Substrats erfindungsgemäße Entspiegelungsschichten auf, wird eine umfangreiche Verbesserung bei der Auskopplung und/oder Einkopplung von Licht aus und in das Element bewirkt.

Die erfindungsgemäßen organischen, elektro-optischen Elemente, insbesondere auch OLEDs lassen sich in einfacher Weise außerdem herstellen, indem bei der Herstellung beispielsweise bereits ein entspiegeltes Substrat mit zumindest einer erfindungsgemäßen Entspiegelungsschicht, die bezüglich der integralen Reflektivität erfindungsgemäß optimierte oder verbesserte Schichtdicke und Brechungsindex aufweist, verwendet wird. Besonders geeignet hierfür ist unter anderem etwa die Verwendung von AMIRAN<sup>®</sup>-Glas als Substrat, wie es großflächig bereits beispielsweise für reflexionsarme Fenstergläser Anwendung findet, mit entsprechend angepaßten Schichtdicken der Lagen der

Entspiegelungsschichten. Vorteilhaft kann die zumindest eine Entspiegelungsschicht daher auch eine AMIRAN<sup>®</sup>-Beschichtung umfassen, wobei die Schichtdicken der Entspiegelungsschicht erfindungsgemäß angepaßt werden können, oder wobei eine zusätzliche erfindungsgemäß ausgestaltete Entspiegelungsschicht aufgebracht wird.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfaßt ein organisches elektro-optisches Element zumindest eine elektro-optische Struktur mit einer aktiven Schicht mit organischem, elektro-optischem Material, wobei zwischen Substrat und elektro-optischer Struktur eine Entspiegelungsschicht angeordnet ist, und wobei lichtstreuende Strukturen zwischen der elektro-optischen Struktur und dem Substrat vorhanden sind. Die lichtstreuenden Strukturen bewirken auf überraschend einfache Weise ebenfalls wie eine hinsichtlich ihrer Dicke und Brechungsindex optimierte Schicht eine deutliche Steigerung der Aus- oder Einkoppeleffizienz gegenüber bekannten OLED-Elementen.

Allgemein kann ein entspiegeltes Glassubstrat mit einer Entspiegelungsschicht mit lichtstreuenden Strukturen als Träger sowohl für ein organisches, elektro-optisches Element, wie insbesondere einer organischen, lichtemittierenden Diode, als auch für andere lichtemittierende Elemente, wie Halbleiterdioden oder anorganische elektrolumineszente Elemente verwendet werden.

Die lichtstreuenden Strukturen können gemäß einer Ausführungsform der Erfindung in der Entspiegelungsschicht vorhanden sein. Dies läßt sich in einfacher Weise realisieren, indem beispielsweise eine

Entspiegelungsschicht aufgebracht wird, die lichtstreuende Strukturen, beispielsweise in Form von Kristalliten, Partikeln oder Einschlüssen enthält, die einen vom umgebenden Material abweichenden Brechungsindex und/oder  
5 eine abweichende Orientierung aufweisen.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, eine zusätzliche Schicht aufzubringen, welche lichtstreuende Strukturen zur Erhöhung der  
10 Auskoppelleffizienz aufweist. Diese Schicht kann beispielsweise zwischen Substrat und elektro-optischer Struktur angeordnet sein. In vorteilhafter Weiterbildung ist die zusätzliche Schicht auf dem Substrat angeordnet oder mit dem Substrat in Kontakt, beziehungsweise wird auf  
15 dieses aufgebracht und weist einen mit dem Substratbrechungsindex im wesentlichen übereinstimmenden Brechungsindex auf. Auf diese Weise entstehen an der Grenzfläche zwischen dieser Schicht und dem Substrat keine die Auskoppelleffizienz mindernden Reflexionen.

20  
Gemäß noch einer weiteren Ausführungsform weist eine strukturierte Grenzfläche zwischen Substrat und Entspiegelungsschicht lichtstreuende Strukturen auf. Eine solche Anordnung kann hergestellt werden, indem die  
25 Entspiegelungsschicht auf eine strukturierte Seite des Substrats aufgebracht wird. Im einfachsten Fall kann dazu die Substratoberfläche auf der für die Entspiegelungsschicht vorgesehenen Seite aufgeraut werden. Gemäß einer Weiterbildung der Erfindung kann die  
30 Substratoberfläche auch mit regelmäßigen Strukturen versehen werden und die Entspiegelungsschicht auf diese Substratseite aufgebracht werden.

Bessere Quantenausbeuten lassen sich außerdem erzielen, wenn neben der aktiven Schicht noch weitere funktionale Schichten zwischen der ersten und zweiten leitfähigen Schicht angeordnet werden. Als weitere funktionale Schichten sind beispielsweise eine Lochinjektionsschicht und/oder eine Potentialanpassungsschicht und/oder eine Elektronenblockierschicht und/oder eine Lochblockierschicht, und/oder eine Loch- und/oder eine Elektronleiterschicht und/oder eine Elektroneninjektionsschicht für die Quanteneffizienz der organischen, elektro-optischen Struktur vorteilhaft, wobei diese Schichten ebenfalls wie die aktive Schicht zwischen der ersten und zweiten leitfähigen Schicht angeordnet sind.

Um hohe interne Quanteneffizienzen zu erreichen, ist es günstig, wenn die Schichten in der Reihenfolge Lochinjektionsschicht / Potentialanpassungsschicht / Lochleiterschicht / Elektronenblockierschicht / aktive Schicht / Lochblockierschicht / Elektronleiterschicht / Elektroneninjektionsschicht aufgebracht werden, beziehungsweise angeordnet sind. Es können auch Teile, Kombinationen oder Mehrfachverwendungen dieser Funktionalschichten, die dem Fachmann bekannt sind, eingesetzt werden.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen und unter Bezugnahme auf die beigefügten Figuren detaillierter beschrieben. Dabei kennzeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder ähnliche Teile.

Es zeigen:

- Fig. 1 bis 4      schematische Querschnitte durch  
Ausführungsformen erfindungsgemäßer  
organischer, elektro-optischer Elemente,  
Fig. 5      eine Berechnung der integralen  
5      Reflektivität einer Entspiegelungsschicht  
für verschiedene Werte der Schichtdicke  
und des Brechungsindex der  
Entspiegelungsschicht,  
Fig. 6A und 6B      Ausführungsformen elektro-optischer  
10      Strukturen eines organischen, elektro-  
optischen Elements,  
Fig. 7A bis 7E      Ausführungsbeispiele von  
Entspiegelungsschichten mit  
lichtstreuenden Strukturen, und  
15      Fig. 8A bis 8C      Raytracing-Simulationen für verschiedene  
Schichtanordnungen.

Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine erste  
20      Ausführungsform eines erfindungsgemäßen elektro-optischen  
Elements, welches als Ganzes mit 1 bezeichnet ist. Als  
Träger des Elements 1 dient ein transparentes, flaches oder  
plattenförmiges Substrat 2, wobei bevorzugt Glas oder  
und/oder Kunststoff als Substratmaterial verwendet wird.  
25      Geeignet sind beispielsweise Substratstärken im Bereich von  
10 bis 2000 Mikrometer, bevorzugt im Bereich von 50 bis 700  
Mikrometern.

Auf der Seite 22 des Substrats 2 ist bei dieser  
30      Ausführungsform eine elektro-optische Struktur 4  
angeordnet. Die elektro-optische Struktur 4 umfaßt dabei  
eine erste und eine zweite leitfähige Schicht, 41 und 42,  
zwischen welchen eine aktive Schicht 6 angeordnet ist. Die



aktive Schicht 6 enthält dabei organisches, elektro-optisches Material.

5 Zwischen dem Substrat 2 und der elektro-optischen Struktur 4 ist außerdem eine Entspiegelungsschicht 10 angeordnet, welche Reflexionen zwischen der dem Substrat 2 zugewandten leitfähigen Schicht 41 und der Oberfläche des Substrats 2 vermindert.

10 Der Brechungsindex der Entspiegelungsschicht 10 wird bevorzugt so gewählt, daß er zwischen dem Brechungsindex der angrenzenden Schichten liegt. Bei üblichen einfachen, einlagigen Entspiegelungs- oder Brechungsindex-  
15 anpassungsschichten wird im allgemeinen deren Dicke so gewählt, daß sie dem Viertel der Wellenlänge des austretenden Lichts entspricht. Für den Brechungsindex der Entspiegelungsschicht wird außerdem nach der aus dem Stand der Technik bekannten Lehre das geometrische Mittel der  
20 Entspiegelungsschicht angrenzenden Medien als Optimum angesetzt.

Wird etwa Glas mit einem Brechungsindex von  $n_3=1,53$  (bei 550 nm Wellenlänge) als Substrat 2 verwendet und Indium-Zinn-Oxid als transparente leitfähige Schicht 41 der  
25 elektro-optischen Struktur 4 mit einem Brechungsindex von  $n_1=1,85$  (bei 550 nm Wellenlänge), so ergibt sich für eine gemäß der bekannten technischen Lehre konstruierte Entspiegelungsschicht ein Brechungsindex von  $n_2=(1,85$   
30  $1,53)^{1/2}=1,68$  und eine für eine Wellenlänge von 550 Nanometern optimierte Dicke von 81,7 nm.

Im Unterschied dazu weist eine einlagige Entspiegelungsschicht eines erfindungsgemäßen elektro-optischen Elements 1, bei welcher die integrale Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht für unter allen Winkeln in der aktiven Schicht ausgehende Lichtstrahlen minimal ist, einen Brechungsindex und eine Schichtdicke auf, die von diesen Werten völlig abweicht. Eine Entspiegelungsschicht, die bezüglich der integralen Reflektivität erfindungsgemäß optimiert ist, weist bei denselben Brechungsindizes von  $n_1=1,85$  und  $n_3=1,53$  einen Brechungsindex von  $n_2=1,59$  (jeweils bei 550 nm Wellenlänge) und eine weitaus größere Schichtdicke von 260 Nanometern auf.

Da sich eine Schicht mit genau festgelegtem Brechungsindex und exakter Schichtdicke in einem industriellen Produktionsprozeß nicht immer ohne Schwierigkeiten realisieren lassen, können die Werte für Brechungsindex und Schichtdicke der Schicht 10 aber auch noch so weit abweichen, daß die sich aus diesen Werten ergebende integrale Reflektivität um höchstens 25 Prozent, bevorzugt höchstens 15 Prozent, besonders bevorzugt höchstens 5 Prozent höher als das theoretisch erreichbare Minimum der integrale Reflektivität ist.

Die Werte für Brechungsindex und Schichtdicke einer Entspiegelungsschicht für ein erfindungsgemäßes Element 1 können beispielsweise durch numerische Berechnung der oben in Beziehung 1) angegebenen integralen Reflektivität für jeweils eine Menge von Werten für Brechungsindex und Schichtdicke und Bestimmung des Minimalwertes der so errechneten integralen Reflektivitäten bestimmt werden.

Zusätzlich ist zum besseren Verständnis der Parameter in den oben angegebenen Beziehungen 1) bis 5) in Fig. 1 ein gedachter Emitter 13 in der aktiven Schicht 6 und ein von diesem Emitter ausgehender Lichtstrahl 10 eingezeichnet.

Wird die integrale Reflektivität der Entspiegelungsschicht 10 der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform gemäß der Beziehung 1) bestimmt, so bezeichnet der Winkel  $\alpha_1$  den zum Lot auf die Grenzfläche zwischen der Schicht 41 und der Entspiegelungsschicht 10 gemessenen Winkel des durch die Schicht 41 laufenden Lichtstrahls. Der Winkel  $\alpha_2$  ist der zum Lot auf die Grenzfläche gemessene Winkel des an der Grenzfläche zwischen der Schicht 41 mit dem Brechungsindex  $n_1$  und der Entspiegelungsschicht mit dem Brechungsindex  $n_2$  gebrochenen, in der Entspiegelungsschicht laufenden Lichtstrahls. Der Winkel  $\alpha_3$  ist weiterhin der Winkel des im Substrat 2 laufenden, an der gegenüberliegenden Grenzfläche der Entspiegelungsschicht 10 zum Substrat 2 mit dem Brechungsindex  $n_3$  gebrochenen Lichtstrahls.

Viele organische elektrolumineszente Materialien weisen keine scharfe monochromatische Emissionslinie oder ein schmalbandiges Emissionsspektrum auf, sondern emittieren vielmehr Licht mit einer spektralen Intensitätsverteilung innerhalb eines gewissen Spektralbereiches. Um hierbei hinsichtlich der Gesamthelligkeit ein gegenüber bekannten OLED-Elementen eine Erhöhung der auskoppelbaren Gesamthelligkeit zu erreichen, können der Brechungsindex und die Schichtdicke der Lage der Entspiegelungsschicht 10 außerdem so gewählt werden, daß die über alle Winkel der von der aktiven Schicht 6 ausgehenden Lichtstrahlen und die

Wellenlängen des Spektralbereichs der emittierten Strahlung integrierte und mit der spektralen Intensitätsverteilung gewichtete Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht 10 minimal ist, oder höchstens 25 Prozent, bevorzugt 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent höher als das Minimum der gewichteten und integrierten Reflektivität ist. Dieses Integral kann gemäß Gleichung 7) errechnet und die Werte des Brechungsindex und der Schichtdicke für den minimal erreichbaren Wert des Integrals bestimmt werden.

Eine zusätzliche Verbesserung kann weiterhin erzielt werden, wenn für die Lage der Entspiegelungsschicht 10 eine Dicke und einen Brechungsindex gewählt wird, für welche die über alle Winkel der von der aktiven Schicht ausgehenden Lichtstrahlen und die Wellenlängen des Spektralbereichs der emittierten Strahlung integrierte und mit der spektralen Intensitätsverteilung, sowie zusätzlich der spektralen Augenempfindlichkeit gewichteten Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht 10 minimal ist, oder höchstens 25 Prozent, bevorzugt 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent höher als das Minimum ist. Die Berechnung des Integrals kann gemäß der oben angegebenen Gleichung 8) vorgenommen werden. Aufgrund der zusätzlichen Berücksichtigung der Augenempfindlichkeit wird für den Betrachter subjektiv ein noch besseres Ergebnis bezüglich der Helligkeit des OLED-Elements 1 erreicht. Die Werte für Brechungsindex und Schichtdicke der Minima der Integrale der mit der spektralen Intensitätsverteilung oder zusätzlich mit der Augenempfindlichkeit gewichteten Reflektivitäten decken sich in aller Regel auch mit dem Minimum der integralen Reflektivität für eine einzelne Wellenlänge im Spektralbereich der emittierten Strahlung

gemäß Gleichung 1), selbst wenn das emittierte Licht nicht monochromatisch ist. Allerdings kann das Minimum der integralen Reflektivität gemäß Gleichung 1) dann bei einer Wellenlänge liegen, bei der die emittierte Intensität nicht maximal ist.

In Fig. 2 ist ein Querschnitt durch eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen organischen, elektro-optischen Elements 1 dargestellt. Auf das Substrat 2 sind bei dieser Ausführungsform auf einer ersten Seite 21 eine erste Entspiegelungsschicht 8 und auf einer zweiten Seite 22 eine zweite Entspiegelungsschicht 10 aufgebracht.

Die Entspiegelungsschichten umfassen jeweils drei Lagen 81, 83, 85, beziehungsweise 101, 103 und 105. Die Lagen der Entspiegelungsschichten weisen jeweils zueinander unterschiedliche Brechungsindizes auf. Speziell sind die Lagen so angeordnet, daß sie vom Substrat ausgehend in einer Schichtabfolge Lage mit mittlerem Brechungsindex / Lage mit hohem Brechungsindex / Lage mit niedrigem Brechungsindex angeordnet sind. Dementsprechend weisen die Lagen 83 und 103 einen höheren Brechungsindex als die Lagen 81 und 101, und die Lagen 85 und 105 auf, wobei die Lagen 85 und 105 jeweils die niedrigsten Brechungsindizes der Entspiegelungsschichten 8 und 10 besitzen.

Der Brechungsindex und die Schichtdicke jeder der Lagen 81, 83, 85, beziehungsweise 101, 103 und 105 der beiden Entspiegelungsschichten 8 und 10 sind dabei derart gewählt, daß die integralen Reflektivitäten der Entspiegelungsschichten 8, 10 jeweils minimal sind oder vom Minimum höchstens 25% abweichen.

Auf der Entspiegelungsschicht 10 auf der Seite 22 des Substrats 2 ist eine elektro-optische Struktur 4 mit einer aktiven Schicht 6 aufgebracht, welche ein organisches, elektro-optisches Material umfaßt. Die Entspiegelungsschicht 8 ist auf der Seite 21 des Substrats 2 angeordnet, welche der Seite 22, auf welcher die elektro-optische Struktur 4 aufgebracht ist, gegenüberliegt.

Die elektro-optische Struktur 4 umfaßt wie bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform eine erste und eine zweite leitfähige Schicht, 41 und 42, zwischen welchen eine aktive Schicht 6 angeordnet ist, die das organische, elektro-optische Material enthält.

Im Falle eines als OLED aufgebauten organischen, elektro-optischen Elements wird Licht, welches vom organischen, elektro-optischen Material durch Elektrolumineszenz, beziehungsweise Elektron-Loch-Rekombination erzeugt wird, durch die erste leitfähige Schicht 41 über das Substrat 2 nach außen geleitet, wobei es an der Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsseite 12 des Elements 1 austritt. Um den Lichtdurchtritt durch die erste leitfähige Schicht 41 zu ermöglichen, ist die leitfähige erste Schicht 41 der elektro-optischen Struktur beispielsweise aus teilweise transparentem, leitfähigen Material, wie etwa Indium-Zinn-Oxid (ITO), einem transparenten leitfähigen Oxis (TCO) oder einer dünnen Metallschicht hergestellt.

Bei einem photovoltaischen Element, bei welchem Licht in der aktiven Schicht 6 im organischen, elektro-optischen Material Elektron-Loch-Paare bildet, ist der Strahlengang entsprechend umgekehrt.

In Fig. 3 ist ein Querschnitt durch eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen organischen, elektro-optischen Elements 1 dargestellt. Diese Ausführungsform unterscheidet sich von der anhand von Fig. 2 dargestellten Ausführungsform durch eine zusätzliche Anpassungsschicht 5 zwischen der elektro-optischen Struktur 4 und der Entspiegelungsschicht 10. Die Anpassungsschicht 5 dient der besseren Brechungsindexanpassung zwischen der Entspiegelungsschicht 10 und der leitfähigen Schicht 41 der elektro-optischen Struktur 4. Die Anpassungsschicht kann auch, wie Fig. 3 zeigt, mehrlagig ausgeführt sein, wobei die beispielhaft gezeigte Anpassungsschicht 5 die vier Lagen 51, 52, 53 und 54 umfaßt.

Die Anpassungsschichten sind insbesondere dann günstig, wenn verschieden aufgebaute elektro-optische Strukturen mit einem Substrat mit vorgefertigter Entspiegelung kombiniert werden sollen. Auf diese Weise kann ein festgelegter Substrattyp ohne Änderungen für mehrere verschiedene elektro-optische Strukturen verwendet werden.

Beispielsweise können so die sonst ursprünglich für andere Anwendungen gedachte AMIRAN<sup>®</sup>-Substrate benutzt werden.

Fig. 4 zeigt noch eine weitere Ausführungsform des erfindungsgemäßen organischen elektro-optischen Elements 1. Bei dieser Ausführungsform umfaßt die Entspiegelungsschicht 10 zwei Lagen 101 und 103. Gegenüber den vorigen Ausführungsformen weist die Entspiegelungsschicht 10 dieser Ausführungsform, welche an die leitfähige Schicht 41 angrenzt, demnach keine dritte Lage 105 auf. Vielmehr übernimmt hier die leitfähige Schicht 41 selbst die

Funktion einer dritten Lage einer dreilagigen  
Entspiegelungsschicht.

5 Dies ist in einfacher Weise beispielsweise dadurch zu  
erreichen, indem für die Schichten 101 und 103 der  
Entspiegelungsschicht 10 die Brechungsindizes im Rahmen  
einer hinsichtlich der integralen Reflektivität  
erfindungsgemäß verbesserten Entspiegelungsschicht so  
10 gewählt werden, daß der Brechungsindex der leitfähigen  
Schicht 41 der elektro-optischen Struktur 4 unter den  
Brechungsindizes der Schichten 101 und 103 liegt. Bevorzugt  
weist dabei auch bei dieser Ausführungsform die Schicht 103  
den höchsten Brechungsindex unter den Schichten auf.

15 Auch für die mehrlagigen Entspiegelungsschichten 8, 10, wie  
sie die in den Fig. 2 bis 4 gezeigt sind, gilt wie bei der  
einlagigen Entspiegelungsschicht des in Fig. 1 gezeigten  
Ausführungsbeispiels, daß die Lagen der  
Entspiegelungsschicht 8, 10 eine Dicke und einen  
20 Brechungsindex aufweisen, für welche die integrale  
Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht  
10 für unter allen Winkeln in der aktiven Schicht  
ausgehende Lichtstrahlen für eine Wellenlänge im  
emittierten Spektralbereich minimal ist oder für welche die  
25 integrale Reflektivität um höchstens 25 Prozent höher als  
das Minimum ist.

Um derart verbesserte Schichtdicken und Brechungsindizes  
der Lagen einer mehrlagigen Schicht zu bestimmen, kann die  
30 integrale Reflektivität gemäß den oben angegebenen  
Gleichungen 1), 7) oder 8) der gesamten, mehrlagigen  
Entspiegelungsschicht 8, beziehungsweise 10 durch rekursive  
Anwendung der Beziehungen 2) bis 5) für die einzelnen



Schichten 81, 83, 85, und 101, 103, 105 der  
Entspiegelungsschichten numerisch berechnet werden.

Bei den anhand der Fig. 2 bis 4 dargestellten  
5 Ausführungsformen organischer elektro-optischer Elemente  
können eine oder mehrere Lagen der Entspiegelungsschicht 10  
auch lichtstreuende Strukturen aufweisen.

Fig. 5 zeigt Graphen der integralen Reflektivität einer  
10 einlagigen Entspiegelungsschicht, wie sie das  
Ausführungsbeispiel der Fig. 1 aufweist, als Funktion von  
Brechungsindex und Schichtdicke der Entspiegelungsschicht  
10. Für die an die Entspiegelungsschicht 10 angrenzende  
leitfähige transparente Elektrodenschicht 41 wurde ein  
15 Brechungsindex von  $n=1,85$  angenommen. Als Substrat 2 wurde  
der Rechnung ein Glas mit einem Brechungsindex von  $n_s=1,45$   
zugrundegelegt. Verschiedene diskrete Werte der integralen  
Reflektivität im Bereich von 0,193 bis 0,539 sind in Fig. 5  
als Kurven dargestellt.

20 An Punkt A wird die minimale Reflektivität von 0,154 für  
eine einlagige Entspiegelungsschicht mit Grenzflächen zu  
Medien mit  $n_1=1,85$  und  $n_s=1,45$  erreicht. Dieser Punkt  
befindet sich bei den Werten  $n_2=1,59$  und  $d=260$  Nanometer.  
25 Die Kurve mit einer integralen Reflektivität von 0,193  
begrenzt außerdem den Wertebereich von Brechungsindex und  
Schichtdicke der Entspiegelungsschicht, in welchem die  
integrale Reflektivität höchstens 25% höher als der  
Minimalwert von 0,154 ist.

30 Der Punkt B bezeichnet die Werte für Brechungsindex und  
Schichtdicke einer Entspiegelungsschicht, die in  
herkömmlicher Weise bei gleichen angrenzenden Medien für

senkrechten Lichtaustritt als Viertelwellenlängen-Schicht optimiert ist. Für eine solche Viertelwellenlängen-Schicht ergeben sich von einer erfindungsgemäßen  
Entspiegelungsschicht deutlich abweichende Werte von  
5  $n_2=1,68$  und  $d=81,7$  Nanometer. Eine erfindungsgemäße  
Entspiegelungsschicht weist also überraschend für die  
beschriebene Konfiguration gegenüber einer üblichen  
Viertelwellenlängen-Schicht eine wesentlich höhere  
Schichtdicke und einen deutlich niedrigeren Brechungsindex  
10 auf.

In den Figuren 6A und 6B sind Querschnitte durch  
verschiedene beispielhafte Ausführungsformen von elektro-  
optischen Strukturen 4 dargestellt. Das Substrat 2, auf  
15 welchem die elektro-optische Struktur 4 aufgebracht ist,  
ist jeweils der Übersichtlichkeit halber ohne  
Entspiegelungsschicht dargestellt.

Bei der in Fig. 6A gezeigten, ersten Ausführungsform einer  
20 elektro-optischen Struktur 4 umfaßt die erste leitfähige  
Schicht 41 eine Indium-Zinn-Oxidschicht 411, welche in  
Kontakt mit dem Substrat 2, beziehungsweise mit einer nicht  
dargestellten Entspiegelungsschicht auf dem Substrat 2  
steht.

25 Auf die Indium-Zinn-Oxidschicht 411 ist eine  
Lochinjektionsschicht 14 aufgebracht. Diese kann  
beispielsweise eine Polymerschicht umfassen, die  
beispielsweise Polyanillin oder PEDOT/PSS ("Poly(3,4-  
30 Ethylendioxythiophen) /Poly(styrensulphonat)") enthält.

Auf diese Lochinjektionsschicht 14 ist eine aktive,  
elektrolumineszente Schicht 6 aufgebracht, welche eine

Polymerschicht aus MEH-PPV 61 als organisches, elektro-optisches Material umfaßt. Dabei bezeichnet MEH-PPV das Polymer (Poly(2-Methoxy, 5-(29-Ethyl-Hexyloxy)-1,4-Phenylenvinyl))..

5

Die auf der aktiven Schicht 6 aufgebrachte, zweite leitfähige Schicht 42 umfaßt in dieser Ausführungsform ein Calcium-Aluminium Zweischichtsystem 421.

10

Die prinzipielle Schichtabfolge ITO-Schicht / PEDOT/PSS-Schicht / MEH-PPV-Schicht / Ca/Al-Schicht dieser Ausführungsform hat sich unter anderem für die Verwendung als OLED bewährt, wobei mit einem derartigen Schichtaufbau vereinzelt bereits deutlich über 10000 Betriebsstunden erreicht werden konnten.

15

In Fig. 6B ist eine weitere, beispielhafte Ausführungsform einer elektro-optischen Struktur 4 dargestellt. Diese weist eine zusätzliche Lochtransportschicht 18 auf, welche nach der Lochinjektionsschicht 14 aufgebracht ist. Als Material geeignet ist für eine Lochtransportschicht 18

20

beispielsweise N,N'-Diphenyl-N,N'-bis(3-Methylphenyl)-1,1'-Biphenyl-4,4'-Diamin (TPD). Ebenso geeignet ist dazu auch N,N'-bis-(1-Naphtyl)-N,N'-Diphenyl-1,1'-Biphenyl-4,4'-diamine (NPB).

25

Die aktive, elektrolumineszente Schicht 6 umfaßt in dieser Ausführungsform eine Schicht 62 als organisches, elektro-optisches Material, die Alq<sub>3</sub> (Tris(8-Quinolinolato)-Aluminum) aufweist. Als organische elektrolumineszente Materialien können aber auch organische Moleküle mit niedriger Massezahl ("small molecules"), die etwa mittels

30

PVD aufdampfbar sind, sowie organische elektrolumineszente Polymere eingesetzt werden.

Die leitfähige Schicht 42 dieser Ausführungsform umfaßt  
5 eine Schicht 422 aus einer Magnesium-Silber-Legierung mit niedriger Austrittsarbeit.

Neben den anhand der Figuren 6A und 6B dargestellten Ausführungsformen sind eine große Vielzahl weiterer  
10 geeigneter elektro-optischer Strukturen bekannt, die sich für OLEDs oder entsprechende photovoltaische Elemente eignen und für die vorliegende Erfindung verwendet werden können. So sind unter anderem mittlerweile eine große Anzahl organischer, elektrolumineszenter Materialien,  
15 leitfähiger Elektrodenschichten, sowie neben den oben genannten Lochtransport- und Lochinjektionsschichten auch viele weitere funktionelle Schichten bekannt, welche die Effizienz von OLEDs oder photovoltaischen Elementen steigern.

20 Derartige Schichten und Materialien, sowie verschiedene mögliche Schichtabfolgen innerhalb von organischen, elektro-optischen Elementen wie insbesondere von OLEDs sind beispielsweise in folgenden Dokumenten, sowie den  
25 Literaturverweisen darin beschrieben, welche durch Bezugnahme diesbezüglich vollständig in die vorliegende Anmeldung mit aufgenommen werden:

1. Nature, Vol. 405, Seiten 661 - 664,
- 30 2. Adv. Mater. 2000, 12, No. 4, Seiten 265 - 269,
3. EP 0573549,
4. US 6107452.

Die Fig. 7A bis 7E zeigen Ausführungsformen der Erfindung, bei welchen die Entspiegelungsschicht 10 außerdem lichtstreuende Strukturen 7 aufweist, welche zumindest  
5 einen Teil des durch die Schicht 10 hindurchtretenden Lichts streuen und so einen Teil des Lichts, welches sonst unter einem Totalreflexionswinkel auf eine der Grenzflächen der Schicht 10 treffen würde, so umlenken, daß ihr Auftreffwinkel unterhalb des kritischen Winkels liegt und  
10 die Grenzfläche passieren kann. Dadurch wird die Aus- oder Einkoppeleffizienz weiter erhöht. Die lichtstreuenden Strukturen können dabei sowohl im Inneren der Schicht 10, als auch an einer oder beiden Grenzflächen der Schicht 10 vorhanden sein.

15 In Fig. 7A ist ein Ausführungsbeispiel eines organischen elektro-optischen Elements 1 mit einer einlagigen Entspiegelungsschicht 10 dargestellt. Der prinzipielle Aufbau dieses erfindungsgemäßen Elements 1 entspricht dabei  
20 der anhand von Fig 1 gezeigten Ausführungsform. Die elektro-optische Struktur 4 ist vereinfacht mit einem dreischichtigen Aufbau dargestellt, kann aber beispielsweise entsprechend den Fig. 6A und 6B aufgebaut sein.

25 Die zwischen der elektro-optischen Struktur 4 und dem Substrat 2 angeordnete Entspiegelungsschicht 10 weist bei dem in Fig. 7A gezeigten Ausführungsbeispiel lichtstreuende Strukturen 7 in Form kleiner Kristallite, Partikel oder  
30 Einschlüsse auf, welche das durch die Schicht 10 tretende Licht zumindest teilweise streuen. Die Partikel oder Einschlüsse weisen dazu beispielsweise einen anderen Brechungsindex auf als die übrige Schicht 10,

beziehungsweise das die Partikel umgebende Material. Die Größe der Partikel ist von der gleichen Größenordnung oder kleiner als die Lichtwellenlänge, auf welche die Entspiegelungsschicht 10 angepaßt ist. Durch Partikel oder  
5 Einschlüsse dieser Größe wird eine besonders effektive Streuung des Lichts erreicht.

Fig. 7B zeigt eine Ausführungsform der Erfindung mit dreilagiger Entspiegelungsschicht 10, wie sie etwa auch die  
10 Ausführungsbeispiele der Fig. 2 bis Fig. 4 aufweisen. Die lichtstreuenden Strukturen sind bei dieser Ausführungsform in jeder der Lagen 101, 103, 105 der Entspiegelungsschicht vorhanden.

15 Fig. 7C zeigt ebenfalls ein Ausführungsbeispiel mit dreilagiger Entspiegelungsschicht. Dabei ist wie bei den Ausführungsbeispielen der Fig. 2 bis Fig. 4 sowohl auf der Seite 22 des Substrats, als auch auf der gegenüberliegenden Seite 21 jeweils eine dreilagige Entspiegelungsschicht 10,  
20 beziehungsweise 8 angeordnet. Die lichtstreuenden Strukturen befinden sich bei dem in Fig. 7C gezeigten Ausführungsbeispiel in den als erste auf das Substrat 2 aufgebrachten Lagen 81 und 101. Selbstverständlich können die lichtstreuenden Strukturen aber auch in einer anderen  
25 Lage oder in zwei Lagen der Entspiegelungsschichten 8, 10 angeordnet sein.

Fig. 7D zeigt noch ein weiteres Ausführungsbeispiel mit einer Entspiegelungsschicht 10 mit lichtstreuenden  
30 Strukturen 7. Im Unterschied zu den in Fig. 7A bis 7C dargestellten Ausführungsbeispielen ist die Grenzfläche zwischen Substrat und Entspiegelungsschicht 10 strukturiert. Dazu wird die Entspiegelungsschicht auf die

strukturierte Seite 21 des Substrats aufgebracht, so daß die Entspiegelungsschicht an ihrer Grenzfläche zum Substrat 2 lichtstreuende Strukturen 7 aufweist.

- 5 Bei der in Fig. 7D gezeigten Ausführungsform ist die Entspiegelungsschicht insbesondere auf die mit regelmäßigen Strukturen in Form regelmäßiger Vorsprünge versehene Seite 22 des Substrats 2 aufgebracht, so daß sich dementsprechend regelmäßige lichtstreuende Strukturen 7 an der Grenzfläche  
10 ergeben. Anders als in Fig. 7D gezeigt, kann die Fläche 22 aber auch einfach mit einem geeigneten Verfahren, beispielsweise durch Ätzen aufgerauht werden, so daß die lichtstreuenden Strukturen unregelmäßig sind.
- 15 Wie Abb. 7E zeigt, können die lichtstreuenden Strukturen aber auch in einer zusätzlichen Schicht 11 auf der Seite 22 des Substrats 2 aufgebracht werden. Der Brechungsindex der Matrix dieser auf dem Substrat 2 angeordneten Schicht 11 kann vorteilhaft so gewählt werden, dass er möglichst gut  
20 mit dem Brechwert des Substrats 2 übereinstimmt. In diesem Fall hat die Schicht keine brechende und damit reflektierende Wirkung an der Grenzfläche zum Substrat, wenn sie mit dem Substrat in Kontakt ist, sondern nur streuende Wirkung und ist kein Bestandteil der  
25 Entspiegelungsschicht.

Die Fig. 8A bis 8C zeigen Raytracing-Simulationen für verschiedene Schichtanordnungen organischer elektrooptischer Elemente. Die Graphen der Fig. 8A bis 8C  
30 zeigen jeweils die Betrachtungsseite eines organischen elektro-optischen Elements 1. Jeder Punkt der Graphen repräsentiert jeweils einen ausgetretenen Lichtstrahl, wobei eine punktförmige Strahlungsquelle in der aktiven

Schicht eines OLEDs als elektro-optische Struktur für die Berechnung zugrundegelegt wurde. Die Strahlungsquelle befindet sich dabei in der Mitte der zweidimensionalen Graphen. Für das Material der aktiven Schicht wurde ein Brechungsindex von  $n=1,7$ , für die zwischen aktiver Schicht und Substrat angeordnete transparente leitfähige Elektrodenschicht ein Brechungsindex von  $n=1,85$  und für das Substrat ein Brechungsindex von  $n=1,45$  angenommen. Der Brechungsindex von  $n=1,85$  der leitfähigen Elektrodenschicht entspricht dabei dem Brechungsindex von Indium-Zinn-Oxid.

Fig. 8A zeigt die Berechnung für eine Anordnung ohne Entspiegelungsschicht zwischen OLED und Substrat. Eine derartige Anordnung, wie sie in herkömmlicher Weise in OLED-Elementen verwendet wird, zeigt eine externe Effizienz von nur 18,8%.

In Fig. 8B ist das Ergebnis einer Simulation für eine wie in Fig. 1 dargestellte erfindungsgemäße Anordnung, jedoch ohne lichtstreuende Strukturen gezeigt. Für den Brechungsindex der Entspiegelungsschicht wurde  $n=1,65$  angenommen. Die Dicke der Entspiegelungsschicht beträgt  $d=0,15 \mu\text{m}$ . Mit einer solchen Anordnung entsprechend dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ohne lichtstreuende Strukturen wird eine Steigerung der externen Quanteneffizienz auf 25,3% erreicht.

Fig. 8C zeigt schließlich eine Simulation für eine wie in Fig. 1 gezeigte erfindungsgemäße Ausführungsform mit zusätzlichen lichtstreuenden Strukturen, entsprechend der in Fig. 7A dargestellten Ausführungsform. Schichtdicken und Brechungsindizes entsprechen dabei der Fig. 8B zugrundeliegenden Simulation. Die externe Quanteneffizienz



steigert sich hier durch das Einbringen der lichtstreuenden Strukturen auf 28%.

5 Es ist dem Fachmann ersichtlich, dass die Erfindung nicht auf die vorstehend beschriebenen Ausführungsformen beschränkt ist, sondern vielmehr in vielfältiger Weise variiert werden kann. Insbesondere können auch die Merkmale der einzelnen beispielhaften Ausführungsformen auch miteinander kombiniert werden.

Bezugszeichenliste

1	Organisches, elektro-optisches Element
2	Substrat
4	Elektro-optische Struktur
5	Anpassungsschicht
6	aktive Schicht der elektro-optischen Struktur 4
7	lichtstreuende Struktur
8, 10	Entspiegelungsschichten
11	Schicht mit lichtstreuenden Strukturen 7
12	Lichtaustritts- und/oder Lichteintrittsseite
13	Gedachter Emitter
14	Lochinjektionsschicht (PEDOT/PSS, CuPC)
18	Lochleiterschicht (TPD, TDAPB)
21	erste Seite des Substrats 2
22	zweite Seite des Substrats 2
41	erste leitfähige Schicht der elektro-optischen Struktur 4
42	zweite leitfähige Schicht der elektro-optischen Struktur 4
51 - 54	Lagen der Anpassungsschicht
61	MEH-PPV Schicht
62	Alq <sub>3</sub> -Schicht
81, 83, 85	Lagen der Entspiegelungsschicht 8
101, 103, 105	Lagen der Entspiegelungsschicht 10
411	Indium-Zinn-Oxidschicht
421	Ca/Al-Schicht
422	Mg:Ag-Schicht

Ansprüche

1. Elektro-optisches Element (1), insbesondere  
5 organisches elektro-optisches Element, vorzugsweise  
organische lichtemittierende Diode, umfassend  
ein Substrat (2) und  
zumindest eine elektro-optische Struktur (4), welche  
eine aktive Schicht mit zumindest einem organischen,  
10 elektro-optischen Material (61) umfaßt, wobei das  
Substrat zumindest eine Entspiegelungsschicht (8, 10)  
mit wenigstens einer Lage aufweist, dadurch  
gekennzeichnet, daß  
die Lage der Entspiegelungsschicht (8, 10) eine Dicke  
15 und einen Brechungsindex aufweist, für welche die  
integrale Reflektivität an den Grenzflächen der  
Entspiegelungsschicht für unter allen Winkeln von der  
aktiven Schicht ausgehenden Lichtstrahlen für eine  
Wellenlänge im spektralen Bereich des  
20 Emissionspektrums minimal ist oder für welche die  
integrale Reflektivität um höchstens 25 Prozent höher  
als das Minimum ist.

2. Organisches, elektro-optisches Element (1) gemäß  
25 Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die  
Schichtdicke und der Brechungsindex der  
Entspiegelungsschicht so gewählt, daß das Integral der  
Reflektivität der Entspiegelungsschicht,

1)

$$I(n_1, n_2, n_3, d) = \int_0^{\pi/2} R(n_1, n_2, n_3, d, \theta) \sin(\theta) d\theta$$

30 minimal ist oder vom Minimalwert höchstens 25 Prozent  
abweicht, wobei  $n_2$  den Brechungsindex der

Entspiegelungsschicht (10),  $n_1$  und  $n_3$  die Brechungsindizes der an die Entspiegelungsschicht (10) angrenzenden Medien,  $\theta$  den Winkel des emittierten Lichts zum Lot auf die dem Emitter zugewandte Grenzfläche der Entspiegelungsschicht und  $d$  die Schichtdicke der Entspiegelungsschicht bezeichnen, und wobei für die Reflektivität  $R(n_1, n_2, n_3, d, \theta)$  angesetzt wird:

$$2) \quad R(n_1, n_2, n_3, d, \theta) = \frac{R_{TE} + R_{TM}}{2}, \text{ wobei}$$

$$3) \quad R_{TE} = \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos(2\beta)}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos(2\beta)}, \text{ mit}$$

$$3a) \quad r_{12} = \frac{n_1 \cos(\alpha_1) - n_2 \cos(\alpha_2)}{n_1 \cos(\alpha_1) + n_2 \cos(\alpha_2)}, \text{ und}$$

$$3b) \quad r_{23} = \frac{n_2 \cos(\alpha_2) - n_3 \cos(\alpha_3)}{n_2 \cos(\alpha_2) + n_3 \cos(\alpha_3)}, \text{ beziehungsweise}$$

$$4) \quad R_{TM} = \frac{r_{12}^2 + r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos(2\beta)}{1 + r_{12}^2 r_{23}^2 + 2r_{12}r_{23} \cos(2\beta)}, \text{ mit}$$

$$4a) \quad r_{12} = \frac{n_2 \cos(\alpha_1) - n_1 \cos(\alpha_2)}{n_2 \cos(\alpha_1) + n_1 \cos(\alpha_2)}, \text{ und}$$

$$4b) \quad r_{23} = \frac{n_3 \cos(\alpha_2) - n_2 \cos(\alpha_3)}{n_3 \cos(\alpha_2) + n_2 \cos(\alpha_3)}, \text{ und wobei}$$

$$5) \quad \beta = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_2 d \cos(\alpha_2) \text{ gilt, und wobei}$$

-der Winkel  $\alpha_1 = \theta$  den zum Lot auf die Grenzfläche gemessenen Winkel eines auf die Entspiegelungsschicht auftreffenden Lichtstrahls,

- der Winkel  $\alpha_2$  den zum Lot auf die Grenzfläche gemessenen Winkel des an der Grenzfläche zwischen dem Medium mit dem Brechungsindex  $n_1$  und der Entspiegelungsschicht gebrochenen, in der
- 5 Entspiegelungsschicht laufenden Lichtstrahls,
- der Winkel  $\alpha_3$  den Winkel des abermals an der gegenüberliegenden Grenzfläche zum Medium mit dem Brechungsindex  $n_3$  gebrochenen und in diesem Medium laufenden Lichtstrahls, und
- 10  $-\lambda_0$  die Wellenlänge des Lichts im Vakuum bezeichnen.
3. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der Entspiegelungsschicht (8, 10) eine Dicke und einen Brechungsindex aufweist,
- 15 für welche die über alle Winkel der von der aktiven Schicht ausgehenden Lichtstrahlen und die Wellenlängen des Spektralbereichs der emittierten Strahlung integrierte und mit der spektralen Intensitätsverteilung gewichtete Reflektivität an den
- 20 Grenzflächen der Entspiegelungsschicht (8, 10) minimal ist, oder höchstens 25 Prozent, bevorzugt 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent höher als das Minimum ist.
- 25 4. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der Entspiegelungsschicht einen Brechungsindex  $n_2(\lambda)$  und eine Dicke  $d$  aufweist, bei welchem das Integral:

$$I(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^{\pi/2} S(\lambda) \cdot R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta) \sin(\theta) d\theta d\lambda$$

minimal, oder höchstens 25 Prozent, bevorzugt 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent größer als das Minimum ist, wobei  $S(\lambda)$  die spektrale Intensitätsverteilungsfunktion,  $R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta)$  die Reflektivität in Abhängigkeit von Emissionswinkel  $\theta$ , Schichtdicke  $d$  und der wellenlängenabhängigen Brechungsindizes  $n_2(\lambda)$  der Entspiegelungsschicht und der angrenzenden Medien,  $n_1(\lambda)$ ,  $n_3(\lambda)$ , und  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  die Grenzen des Emissionsspektrums bezeichnen.

10

15

20

25

5. Element gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der Entspiegelungsschicht (8, 10) eine Dicke und einen Brechungsindex aufweist, für welche die über alle Winkel der von der aktiven Schicht ausgehenden Lichtstrahlen und die Wellenlängen des Spektralbereichs der emittierten Strahlung integrierte und mit der spektralen Intensitätsverteilung, sowie der spektralen Augenempfindlichkeit gewichtete Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht (8, 10) minimal ist, oder höchstens 25 Prozent, bevorzugt 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent höher als das Minimum ist.
6. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Lage der Entspiegelungsschicht einen Brechungsindex  $n_2(\lambda)$  und eine Dicke  $d$  aufweist, bei welchem das Integral:

$$I(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \int_0^{\pi/2} S(\lambda) \cdot V(\lambda) \cdot R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta) \sin(\theta) d\theta d\lambda$$

30

minimal, oder höchstens 25 Prozent, bevorzugt 15 Prozent, besonders bevorzugt 5 Prozent größer als das Minimum ist, wobei  $S(\lambda)$  die spektrale Intensitätsverteilungsfunktion,  $V(\lambda)$  die spektrale Augenempfindlichkeit,  $R(n_1(\lambda), n_2(\lambda), n_3(\lambda), d, \theta)$  die Reflektivität in Abhängigkeit von Emissionswinkel  $\theta$ , Schichtdicke  $d$  und der wellenlängenabhängigen Brechungsindizes  $n_2(\lambda)$  der Entspiegelungsschicht und der angrenzenden Medien,  $n_1(\lambda)$ ,  $n_3(\lambda)$ , und  $\lambda_1$  und  $\lambda_2$  die Grenzen des Emissionsspektrums bezeichnen.

7. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zumindest eine elektro-optische Struktur (4) eine erste (41) und eine zweite (42) leitfähige Schicht umfaßt, zwischen welchen eine aktive Schicht (6) angeordnet ist, welche das zumindest eine organische, elektro-optische Material (61) umfaßt.
8. Element nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die erste und/oder zweite leitfähige Schicht zumindest teilweise transparent ist.
9. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat Glas, insbesondere Kalk-Natron Glas, eine Glaskeramik und/oder Kunststoff und/oder barrierebeschichteter Kunststoff und/oder Kombinationen davon umfaßt.
10. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zumindest eine Entspiegelungsschicht (8, 10) mehrere Lagen umfaßt.

11. Element nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagen (81, 83, 85, 101, 103, 105) unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen.
- 5
12. Element nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Entspiegelungsschicht (8, 10) drei Lagen (81, 83, 85, 101, 103, 105) aufweist.
- 10
13. Element nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß die Lagen vom Substrat ausgehend in einer Schichtabfolge Lage mit mittlerem Brechungsindex (81, 101) / Lage mit hohem Brechungsindex (83, 103) / Lage mit niedrigem Brechungsindex (85, 105) angeordnet sind.
- 15
14. Element nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei die Entspiegelungsschicht (10) zumindest zwei Lagen aufweist, und eine der leitfähigen Schichten (41, 42) an die Entspiegelungsschicht (10) angrenzt, dadurch gekennzeichnet, daß die leitfähige Schicht (41, 42) einen Brechungsindex aufweist, welcher unter den Brechungsindizes der zumindest zwei Lagen der Entspiegelungsschicht (10) liegt.
- 20
15. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Entspiegelungsschicht (8, 10) zumindest eines der Materialien Titanoxid, Tantaloxid, Nioboxid, Hafniumoxid, Aluminiumoxid, Siliziumoxid, Magnesiumnitrid aufweist.
- 25
16. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zumindest eine Entspiegelungsschicht (10) auf der Seite (22) des
- 30



Substrats (2) angeordnet ist, auf welcher die zumindest eine elektro-optische Struktur (4) aufgebracht ist.

- 5 17. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen Entspiegelungsschicht (8) und elektro-optischer Struktur (4) zumindest eine Anpassungsschicht (5) angeordnet ist.

- 10 18. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch zumindest eine Entspiegelungsschicht auf der Seite (21) des Substrats (2), welcher der Seite (22), auf welcher die zumindest eine elektro-optische Struktur (4) angeordnet ist, gegenüberliegt.
- 15

19. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die zumindest eine Entspiegelungsschicht (8, 10) eine AMIRAN<sup>®</sup>-Beschichtung umfaßt.
- 20

20. Element (1) gemäß einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Entspiegelungsschicht (10) lichtstreuende Strukturen (7) aufweist.
- 25

21. Element nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die lichtstreuenden Strukturen (7) Kristallite, Partikel oder Einschlüsse in der Entspiegelungsschicht (10) umfassen.
- 30

22. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch eine strukturierte Grenzfläche mit lichtstreuenden Strukturen zwischen

Entspiegelungsschicht und Substrat.

23. Element nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
gekennzeichnet durch eine zusätzliche Schicht (11) mit  
5 lichtstreuenden Strukturen (7).
24. Element nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, daß  
die zusätzliche Schicht (11) einen mit dem  
10 Substratbrechungsindex im wesentlichen  
übereinstimmenden Brechungsindex aufweist und die  
zusätzliche Schicht (11) auf dem Substrat (2)  
angeordnet ist.
25. Verfahren zur Herstellung eines organischen, elektro-  
15 optischen Elements (1), insbesondere eines  
organischen, elektro-optischen Elements nach einem der  
Ansprüche 1 bis 14, umfassend die Schritte:
- Beschichten zumindest einer Seite (21, 22) eines  
Substrats (2) mit einer Entspiegelungsschicht (8, 10),  
20 und
  - Aufbringen zumindest einer elektro-optischen  
Struktur (4), welche zumindest ein organisches,  
elektro-optisches Material (61) umfaßt, dadurch  
gekennzeichnet, daß das Substrat mit einer  
25 Entspiegelungsschicht (8, 10) beschichtet wird, die  
wenigstens eine Lage mit einer Dicke und einem  
Brechungsindex aufweist, für welche die integrale  
Reflektivität an den Grenzflächen der  
Entspiegelungsschicht (10) für unter allen Winkeln in  
30 der aktiven Schicht ausgehende Lichtstrahlen und für  
eine Wellenlänge im Spektralbereich des emittierten  
Lichts minimal ist oder für welche die integrale  
Reflektivität um höchstens 25 Prozent höher als das

Minimum ist.

26. Verfahren nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet,  
daß der Schritt des Aufbringens zumindest einer  
5 elektro-optischen Struktur (4) die Schritte umfaßt:  
-Aufbringen einer ersten leitfähigen Schicht (41),  
-Aufbringen mindestens einer aktiven Schicht (6),  
welche das zumindest eine organische, elektro-optische  
Material (61) umfaßt, und  
10 - Aufbringen einer zweiten leitfähigen Schicht (42).
27. Verfahren nach Anspruch 25 oder 26, dadurch  
gekennzeichnet, daß der Schritt des Beschichtens  
zumindest einer Seite (21, 22) eines Substrats (2) mit  
15 einer Entspiegelungsschicht (8, 10) den Schritt des  
Beschichtens mit einer Entspiegelungsschicht (8, 10)  
umfaßt, welche mehrere Lagen (81, 83, 85, 101, 103,  
105), insbesondere drei Lagen aufweist.
28. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des  
Beschichtens zumindest einer Seite (21, 22) eines  
Substrats (2) mit einer Entspiegelungsschicht (8, 10)  
die Schritte umfaßt:  
20 -Aufbringen einer Lage mit mittlerem Brechungsindex  
(81, 101),  
-Aufbringen einer Lage mit hohem Brechungsindex (83,  
103), und  
-Aufbringen einer Lage mit niedrigem Brechungsindex  
25 (85, 105).  
30
29. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, daß das Substrat (2) mit einer

Entspiegelungsschicht (10) beschichtet wird, die lichtstreuende Strukturen (7) aufweist.

5 30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, daß eine Entspiegelungsschicht (10) aufgebracht wird, welche Kristallite, Partikel oder Einschlüsse enthält, die einen vom umgebenden Material abweichenden Brechungsindex oder Orientierung aufweisen.

10 31. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß eine zusätzliche Schicht (11) mit lichtstreuenden Strukturen (7) aufgebracht wird.

15 32. Verfahren gemäß Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, daß die zusätzliche Schicht einen mit dem Substratbrechungsindex im wesentlichen übereinstimmenden Brechungsindex aufweist und die zusätzliche Schicht (11) auf das Substrat aufgebracht  
20 wird.

25 33. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Entspiegelungsschicht (10) auf einer strukturierte Seite (22) des Substrats (2) aufgebracht wird.

30 34. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Entspiegelungsschicht (10) auf eine aufgerauhte Seite (22) des Substrats (2) aufgebracht wird.

35. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Entspiegelungsschicht

auf eine mit regelmäßigen Strukturen versehene Seite (22) des Substrats (2) wird.

36. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, daß auf die  
Entspiegelungsschicht (8) zumindest eine  
Anpassungsschicht (5) aufgebracht wird.
37. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
10 dadurch gekennzeichnet, daß die zumindest eine  
Entspiegelungsschicht (8, 10) und die zumindest eine  
elektro-optische Struktur (4) auf gegenüberliegenden  
Seiten (21, 22) des Substrats (2) aufgebracht werden.
38. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
15 dadurch gekennzeichnet, daß beidseitig auf das  
Substrat (2) Entspiegelungsschichten (8, 10)  
aufgebracht werden.
39. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche,  
20 dadurch gekennzeichnet, daß der Schritt des  
Beschichtens zumindest einer Seite (21, 22) eines  
Substrats (2) mit einer Entspiegelungsschicht (8, 10)  
mit Vakuumbeschichtung, insbesondere physikalische  
25 Dampfphasenabscheidung ("physical vapor deposition"  
(PVD) oder Sputtern, chemisches Abscheiden aus der  
Gasphase (CVD), thermisch oder plasmaunterstützte  
chemische Dampfphasenabscheidung (PECVD) oder gepulste  
plasmaunterstützte chemische Dampfphasenabscheidung  
30 (PICVD), oder mittels Sol-Gel-Beschichtung, Tauch-,  
Sprüh- oder Schleuderbeschichtung erfolgt.
40. Verwendung eines entspiegelten Glassubstrats (2)

mit einer Entspiegelungsschicht (8, 10) mit wenigstens einer Lage, welche eine Dicke und einen Brechungsindex aufweist, für welche die integrale Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht für unter  
5 allen Winkeln von einem gedachten Emitter in der aktiven Schicht ausgehende Lichtstrahlen und für eine Wellenlänge im spektralen Bereich des Emissionspektrums minimal ist oder für welche die integrale Reflektivität um höchstens 25 Prozent höher  
10 als das Minimum ist, als Träger für ein organisches, elektro-optisches Element (1), insbesondere einer organischen, lichtemittierenden Diode.

41. Verwendung eines entspiegelten Glassubstrats (2) mit  
15 einer Entspiegelungsschicht mit lichtstreuenden Strukturen als Träger für ein organisches, elektro-optisches Element (1), insbesondere einer organischen, lichtemittierenden Diode.

20 42. Verwendung eines entspiegelten Glassubstrats (2) nach Anspruch 32 oder 33, dadurch gekennzeichnet, daß das Glassubstrat (2) AMIRAN<sup>®</sup>-Glas umfaßt.

Zusammenfassung

Um bei einem organischen, elektro-optischen Element,  
5 insbesondere bei einer OLED eine erhöhte Ein- und/oder  
Auskoppeleffizienz für Licht zu erreichen, sieht die  
Erfindung ein organisches, elektro-optisches Element vor,  
welches ein Substrat (2) und  
zumindest eine elektro-optische Struktur (4), welche eine  
10 aktive Schicht mit zumindest einem organischen, elektro-  
optischen Material (61) umfaßt, wobei das Substrat  
zumindest eine Entspiegelungsschicht (8, 10) mit wenigstens  
einer Lage aufweist, und wobei  
die Lage der Entspiegelungsschicht (8, 10) eine Dicke und  
15 einen Brechungsindex aufweist, für welche die integrale  
Reflektivität an den Grenzflächen der Entspiegelungsschicht  
für unter allen Winkeln von der aktiven Schicht ausgehenden  
Lichtstrahlen für eine Wellenlänge im spektralen Bereich  
des Emissionspektrums minimal ist oder für welche die  
20 integrale Reflektivität um höchstens 25 Prozent höher als  
das Minimum ist.

Fig. 1

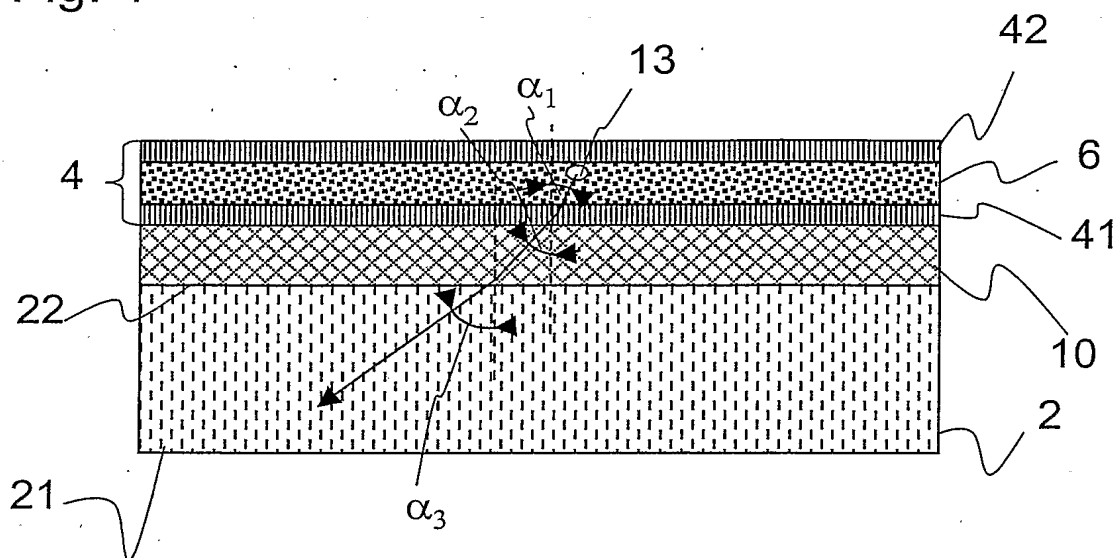


Fig. 2

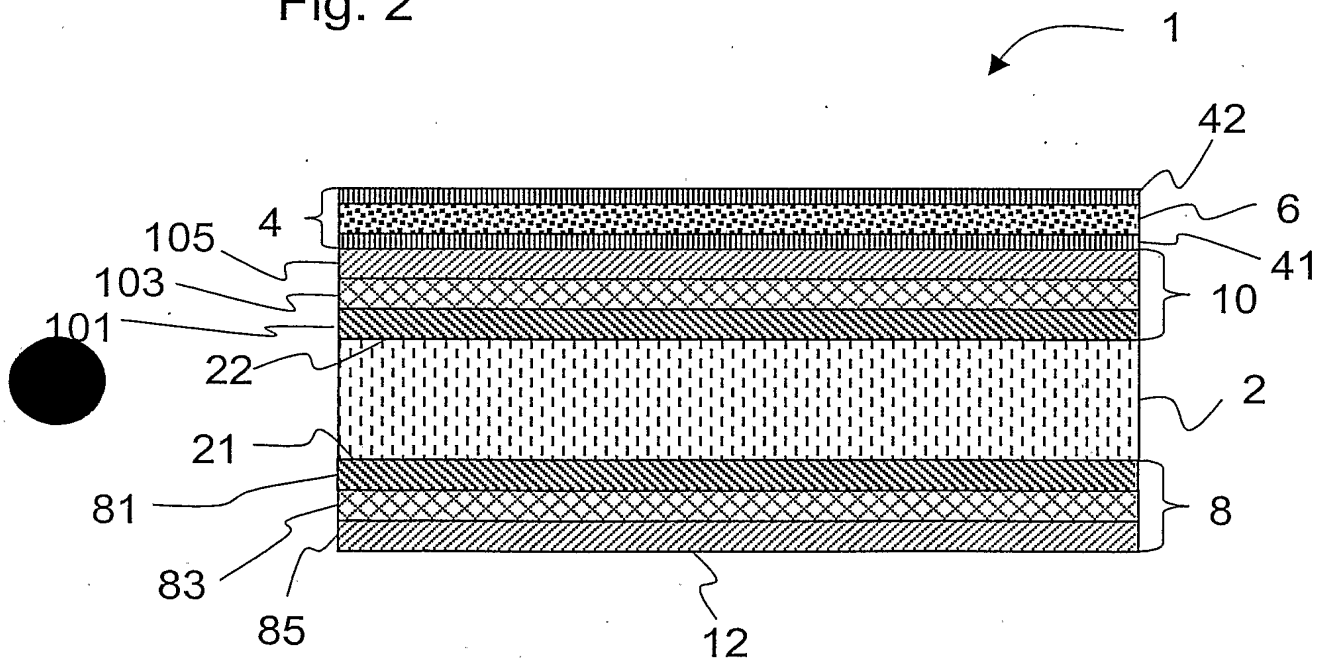




Fig. 3

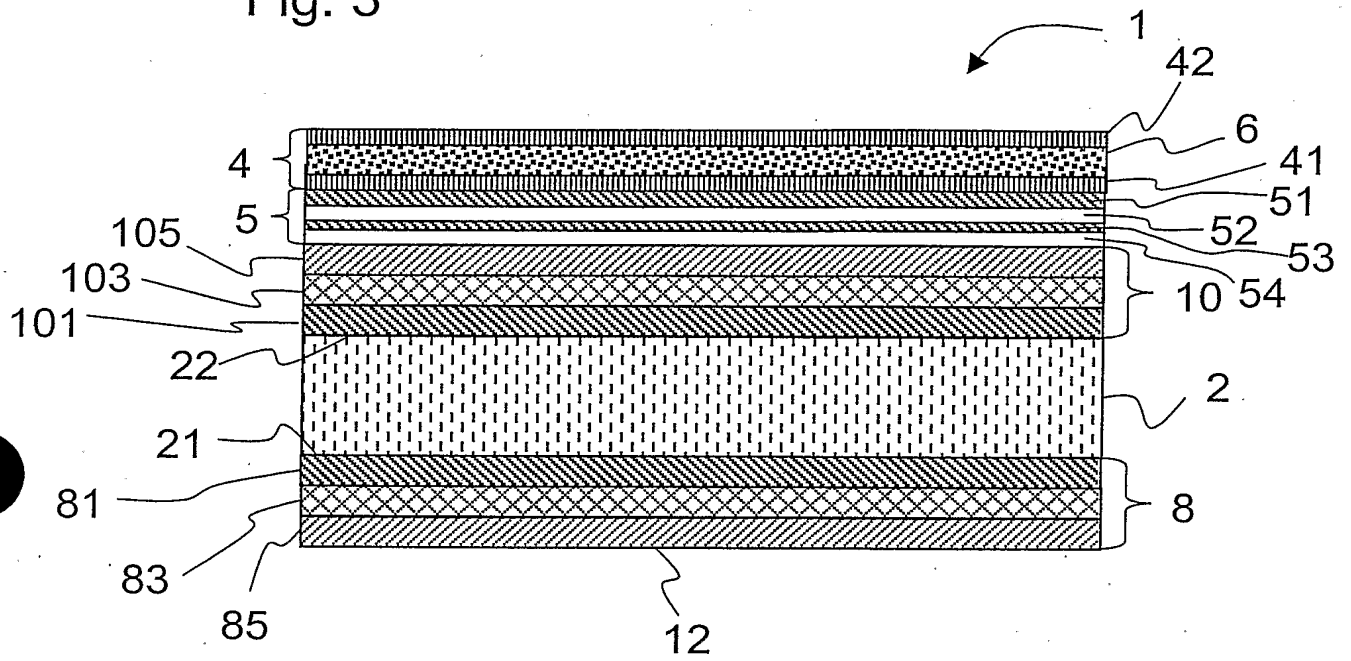
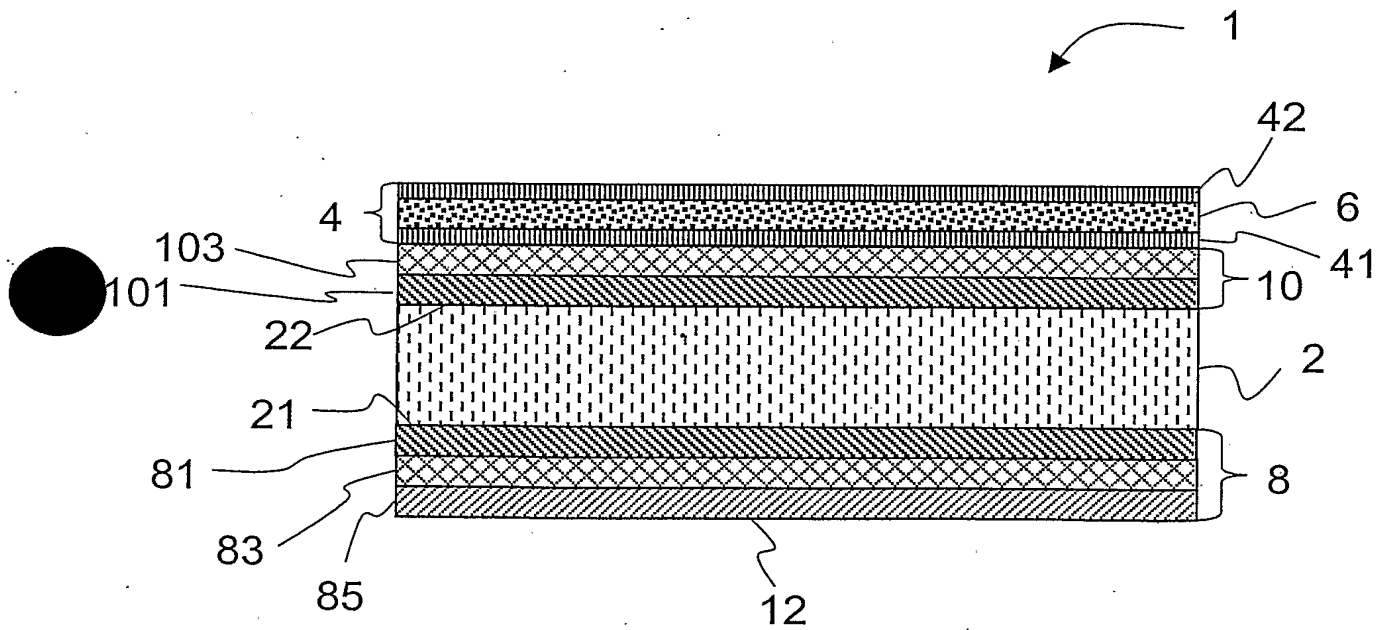


Fig. 4



# Integrale Reflektivität als Funktion von Brechungsindex und Schichtdicke

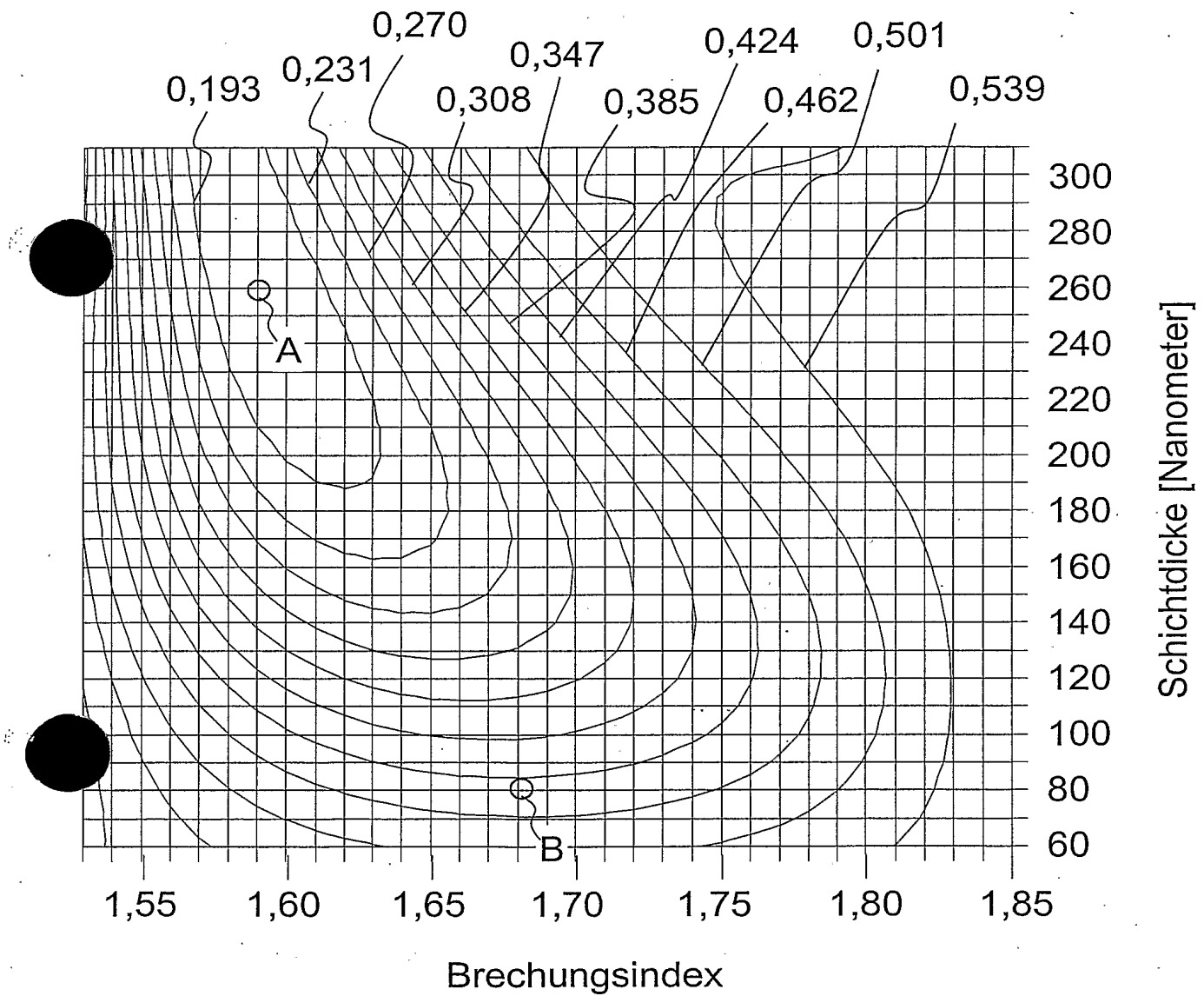


Fig. 5

Fig. 6A

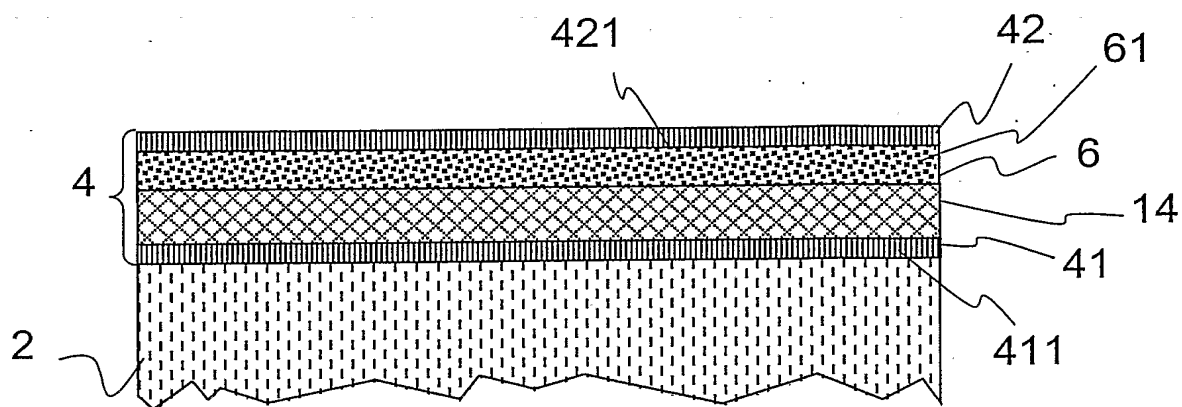


Fig. 6B

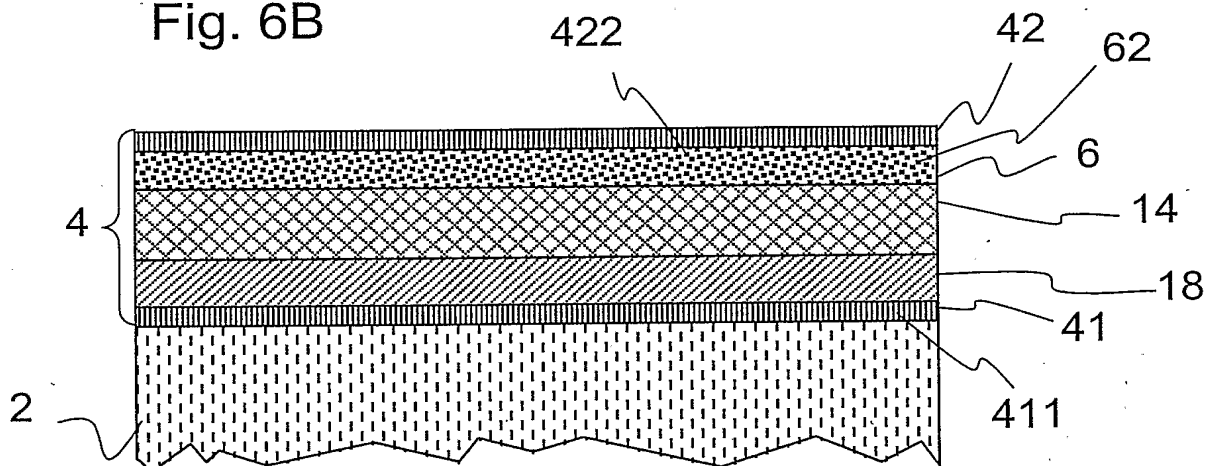


Fig. 7A

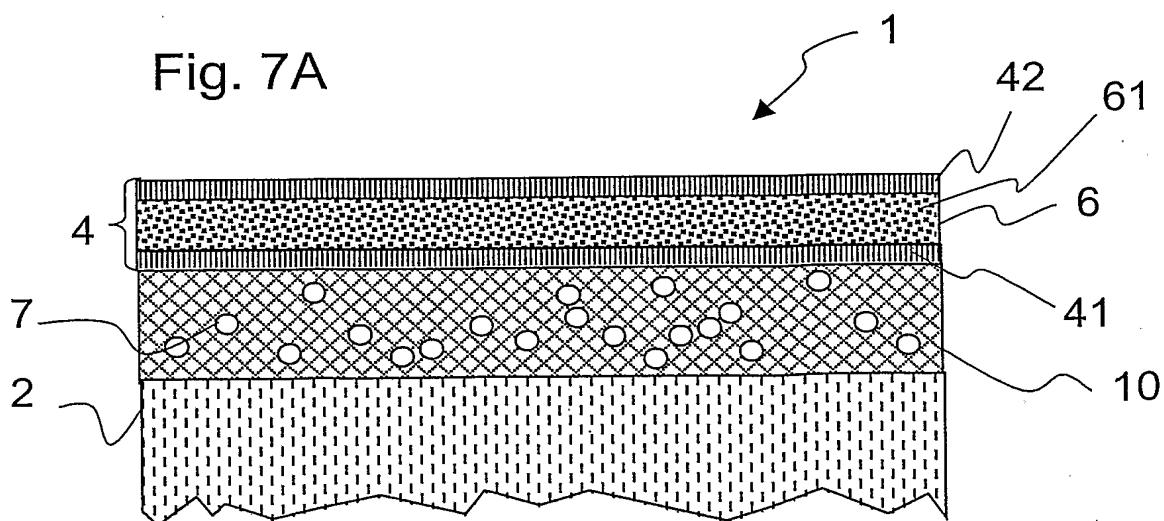


Fig. 9B

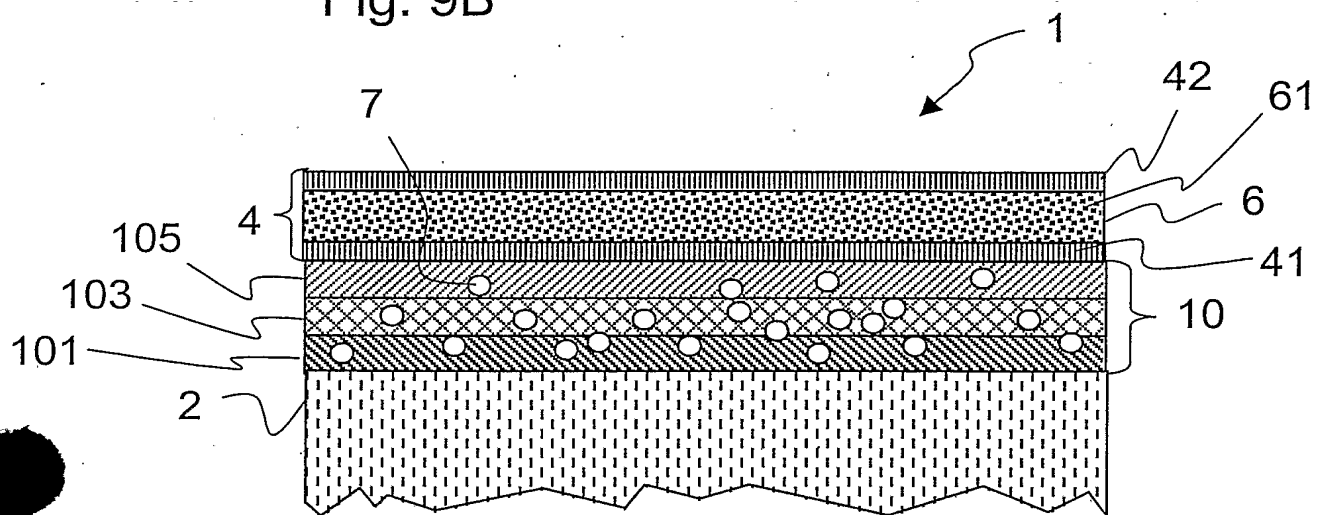


Fig. 9C

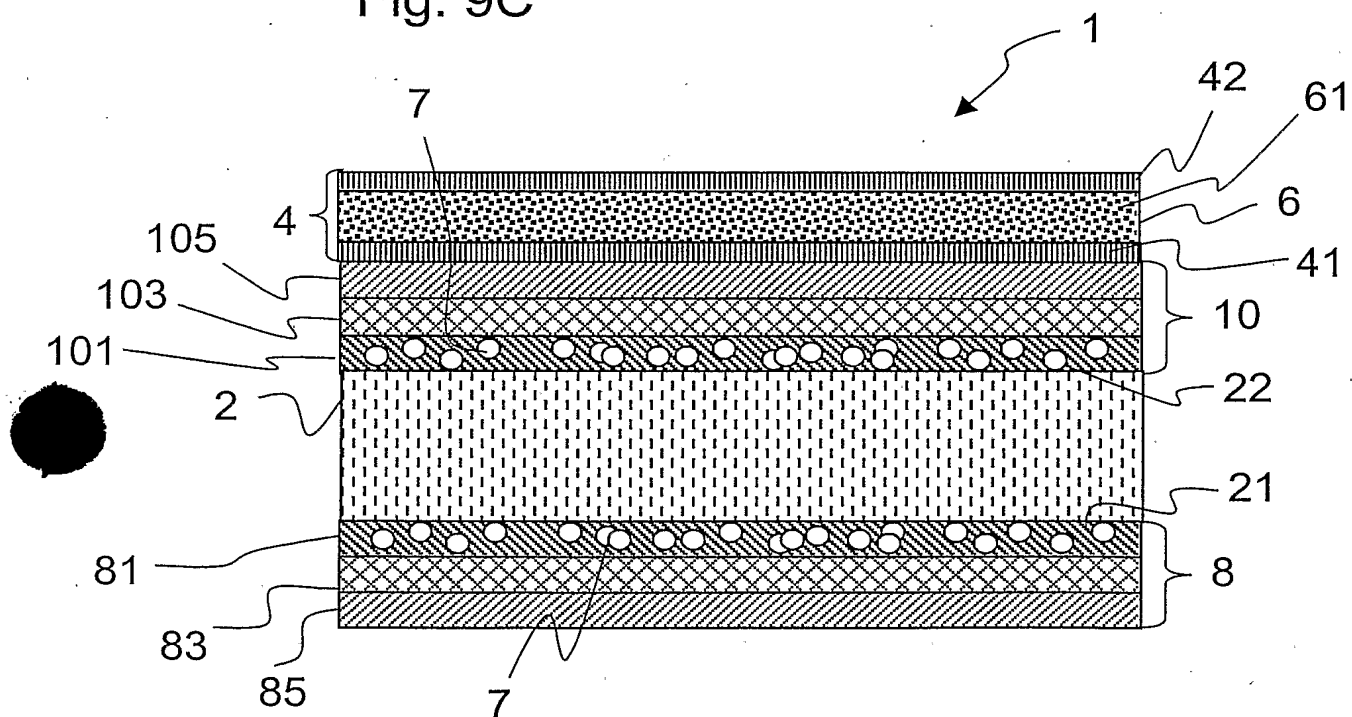


Fig. 9D

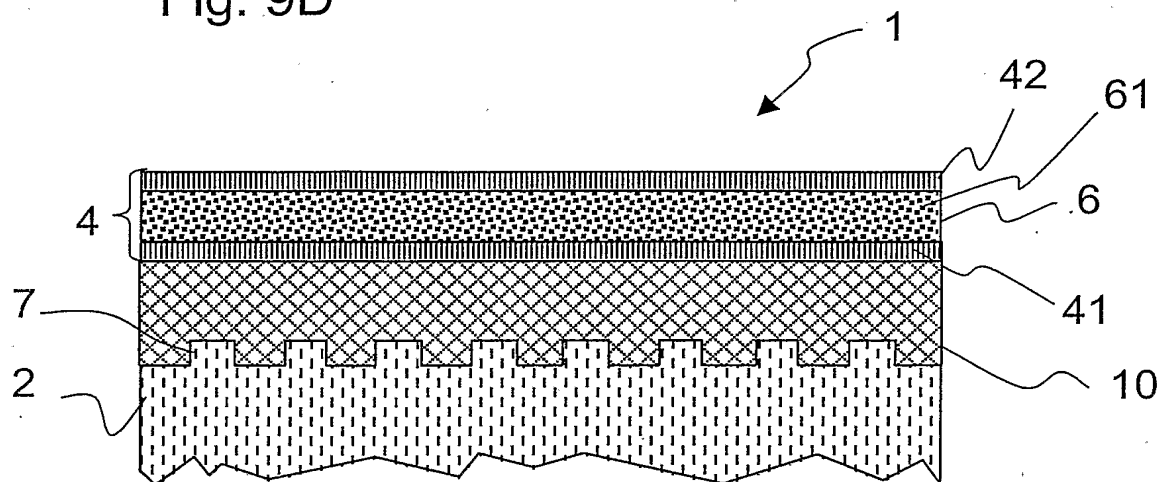


Fig. 10A

$$\eta_{\text{ext}} = 18.8\%$$

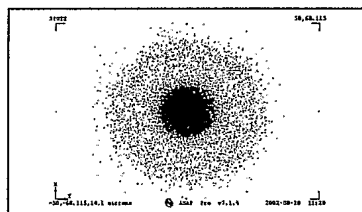


Fig. 10B

$$\eta_{\text{ext}} = 25.3\%$$

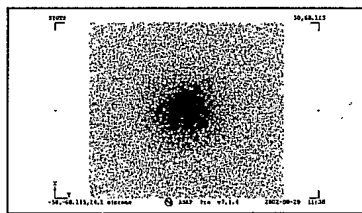


Fig. 10C

$$\eta_{\text{ext}} = 28\%$$

